



Màster universitari en **Formació del Professorat d'Educació Secundària
Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes**

Treball de fi de màster

Títol: *Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología.*

Cognoms: *Mayordomo Mas*

Nom: *Joan Manel*

Titulació: Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat,
Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes

Especialitat: Tecnologia

Director/a: Antoni Hernández Fernández

Data de lectura: 30 de juny de 2015



ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Definición y contexto del problema	4
2.1. Neurociencia y educación	4
2.2. Neuroeducación: hacía un cambio de paradigma educativo	9
3. Una propuesta neuroeducativa	17
3.1. Neuroeducación: Estudios prácticos previos	17
3.2. Aportaciones pedagógicas des de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología.	21
3.3. Rol docente según la neuroeducación	28
4. Resultados	30
4.1. Estudio sobre horario de sesiones	30
4.2. Aplicación mapa mental	35
4.3. Conclusiones parciales	37
5. Conclusiones	39
Agradecimientos	41
Bibliografía	42

1. Introducción

Educar sin saber cómo funciona el cerebro es como querer diseñar un guante sin haber visto nunca una mano.

Leslie Hart, Asociación de neuroaprendizaje cognitivo

En el contexto actual, la educación se sitúa en un momento de necesaria reflexión y planteamiento sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esta reflexión es imprescindible, como en toda la historia de la educación, y debe hacerse a la luz de cómo aprenden los alumnos. En los últimos años, los avances en la neurociencia han aportado nuevos conocimientos que nos permiten entender cómo funciona el cerebro y cuáles son los mecanismos cerebrales mediante los que se produce el aprendizaje (Jensen, 2004; Tokuhamas-Espinosa, 2011; Ortiz, 2009; Mora, 2013).

Por tanto, estas aportaciones a la pedagogía y a la psicología del aprendizaje obligan a replantear algunos aspectos del proceso educativo en las aulas, así como el papel del docente y el alumno. Debemos conocer qué aporta la neuroeducación al docente y qué herramientas son necesarias para situarse delante del grupo de alumnos con un mayor conocimiento de cómo se produce su proceso de aprendizaje. La neuroeducación ha de consistir en aprovechar el conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro para enseñar y aprender mejor, buscando un aprendizaje compatible con la circuitería neuronal (Hart, 1983).

El presente trabajo de final de master pretende estrechar la distancia existente entre la investigación científica y la práctica educativa en el aula. El interés por la temática proviene de la asignatura *Innovació Docent i Iniciació a la Recerca Educativa*, donde se planteó la neuroeducación como un campo frontera en la innovación educativa actual. Y así es, como se verá.

Los objetivos planteados en el trabajo son los siguientes:

- Estudiar la irrupción de las neurociencias en la educación. Revisar, analizar y describir las aportaciones teóricas de la neurociencia y la neurodidáctica.
- Describir el paradigma educativo que plantea la neurociencia y reflexionar sobre los cambios que implica en el aula.
- Analizar estudios previos sobre neuroeducación.
- Realizar, a modo de ejemplo, aportaciones pedagógicas fundamentadas en la neuroeducación para la mejora de los procesos de aprendizaje.
- Definir el rol docente desde la neuroeducación y describir los cambios respecto la figura del educador.

El trabajo parte de una reflexión general, teórica, para posteriormente concretar qué es posible realizar en el aula. Así, de la exposición de los fundamentos de la neuroeducación, y de sus aportaciones más importantes, pasaremos a revisar las concreciones, propuestas didácticas y experimentación que se puede llevar a término en el aula neuroeducativa.

En definitiva, aplicar algunos de los conceptos sobre neuroeducación a la investigación en el aula era una premisa importante en el planteamiento del trabajo. En resumen, este trabajo se basa en el interés por cambiar, innovar y mejorar la educación teniendo como base los conocimientos científicos existentes en la actualidad sobre el cerebro y sus misterios.

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

2. Definición y contexto del problema

2.1. Neurociencia y educación

El hombre debería saber que del cerebro, y no de otro lugar vienen las alegrías, los placeres, la risa y la broma, y también las tristezas, la aflicción, el abatimiento, y los lamentos. Y con el mismo órgano, de una manera especial, adquirimos el juicio y el saber, la vista y el oído y sabemos lo que está bien y lo que está mal, lo que es trampa y lo que es justo, lo que es dulce y lo que es insípido, algunas de estas cosas las percibimos por costumbre, y otras por su utilidad... Y a través del mismo órgano nos volvemos locos y deliramos, y el miedo y los terrores nos asaltan, algunos de noche y otros de día, así como los sueños y los delirios indeseables, las preocupaciones que no tienen razón de ser, la ignorancia de las circunstancias presentes, el desasosiego y la torpeza. Todas estas cosas las sufrimos desde el cerebro.

Hipócrates: Sobre la enfermedad Sagrada, s IV aC

Hace décadas que la neurociencia está permitiendo obtener mucha información sobre el cerebro y su funcionamiento (Battro, 2010). Las técnicas de visualización cerebral facilitan una mayor comprensión de cómo se efectúa el proceso de aprendizaje (Munakata et al., 2004). En este sentido, podemos hablar de Neuroeducación, como una nueva disciplina de trabajo y pensamiento donde confluyen la pedagogía, la psicología cognitiva y la neurociencia (Campos, 2010). La neuroeducación consiste en aprovechar los conocimientos sobre el funcionamiento cerebral para enseñar y aprender mejor.

En el año 2002, la OCDE publicó el informe *Comprendiendo el cerebro. Hacia una nueva ciencia del aprendizaje* (OCDE, 2002), donde se insistía en la necesidad de incorporar el conocimiento del cerebro en la práctica y reflexión pedagógica. El informe posterior del 2007 (*Comprendiendo el cerebro. El nacimiento de una nueva ciencia del aprendizaje*) plantea que la neuroeducación, sin ser la panacea, puede colaborar a mejorar la educación, dando respuesta algunos de los interrogantes educacionales planteados.

En la misma línea de pensamiento, la revista Science (Meltzoff et al., 2009) dedicó hace ya seis años un artículo especial a plantear los *Fundamentos para una nueva ciencia del aprendizaje*, donde se planteaba la neuroeducación como un elemento imprescindible de la nueva ciencia educativa del siglo XXI (Figura 1).

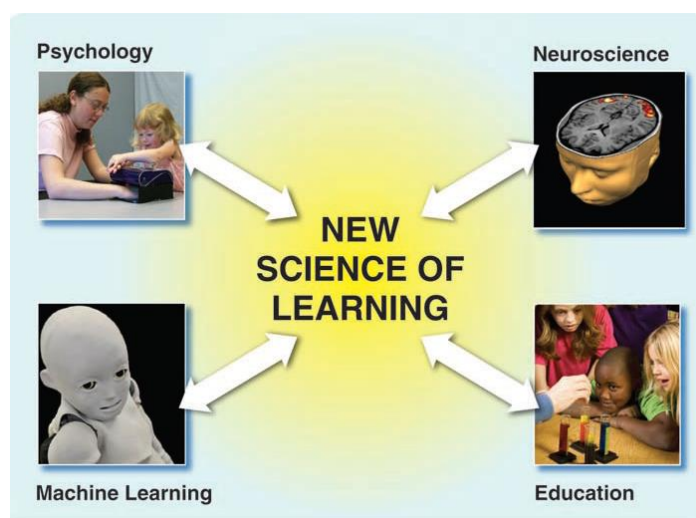


Figura 1. La nueva ciencia del aprendizaje debería fundamentarse en cuatro pilares: la investigación psicológica, la neurociencia, el aprendizaje de máquinas (inteligencia artificial) y los estudios de campo en la educación (Meltzoff et al., 2009).

Esta nueva ciencia educativa surge de la interacción de diversas disciplinas (Meltzoff et al., 2009):

- El desarrollo de la psicología ha permitido identificar los factores sociales esenciales para el aprendizaje.
- Los avances en algoritmos de aprendizaje y en las máquinas que mejoran la experiencia educativa.
- Los avances neurocientíficos sobre los sistemas cerebrales implicados en el aprendizaje y en las interacciones sociales.
- Y la educación en las aulas, convertidas en laboratorios donde descubrir las nuevas prácticas educativas.

Por tanto, en el momento actual se nos plantea, ya como una obligación científica, la necesidad de conocer mejor el cerebro, su funcionamiento y los procesos que se dan en la generación del aprendizaje para avanzar en la mejora de la educación. Porque la nueva ciencia educativa debería ir más allá de la mera descripción de hechos y situaciones que se dan en el aula, para pasar a aplicar, con todas sus consecuencias, el método científico.

2.1.1. La Neurociencia

En las últimas décadas del siglo XX, las investigaciones sobre el cerebro se han multiplicado, abarcando múltiples disciplinas como la genética, la biología, la física, la farmacia o la psicología. La década de los 90 fue definida como la década del cerebro, con el fruto de un gran número de trabajos e investigaciones sobre el tema (Restak, 2005).

La neurociencia se puede definir como el conjunto de ciencias o disciplinas cuyo objeto de investigación común es el sistema nervioso de los seres vivos, con un interés particular en explicar cómo la actividad del cerebro se relaciona con la conducta y el aprendizaje (Kandel et al., 1997; Salas, 2003). En este sentido, cabe resaltar la neurociencia cognitiva como una de las áreas de estudio privilegiadas; en palabras de Kandel y colaboradores (1997) la neurociencia cognitiva, con su interés por la percepción, la acción, la memoria, el lenguaje y la atención selectiva, vendrá a representar cada vez más el eje central de las neurociencias en el siglo XXI.

El acelerado desarrollo de la neurociencia, así como las tecnologías de escáner cerebral, permiten ahora una mayor comprensión del cerebro y de sus funciones cognitivas y emocionales que tienen consecuencias directas para la educación.

2.1.2. Irrupción de la neurociencia en la educación

Como ya se apuntaba anteriormente, la neurociencia puede, y tiene, que ayudar a comprender y mejorar los procesos educativos (Campos, 2010). En esa línea, cada vez son mayores los esfuerzos por incorporar y aprovechar los avances neurocientíficos a la praxis educativa (Wolfe, 2001; Marina, 2012).

Existen experiencias innovadoras en relación a la aportación de la neurociencia al mundo educativo como pone de manifiesto, por ejemplo, la creación en diversas partes del mundo de centros e institutos dedicados al estudio e investigación sobre la neurociencia y sus aplicaciones en la educación. A tal efecto, cabe destacar, entre otros, *Centre for Neuroscience in Education* de la Universidad de Cambridge, Reino Unido¹ o *Mind, Brain and Education*

¹ <http://www.neuroscience.cam.ac.uk>

Program de la Universidad de Harvard². En esta hibridación entre neurociencia y educación se habla del surgimiento de una nueva ciencia: MBE (*Mind, Brain and Education*), donde convergen la psicología, la neurociencia y la educación. A nivel internacional existe una asociación de referencia (*International Mind, Brain and Education*), y la edición de la una revista del mismo nombre. En España, en los últimos años, también han comenzado a publicarse libros sobre el tema (Ortiz, 2009; Ibarrola, 2013; Mora, 2013), y ha tenido especial repercusión mediática la obra *Neuroeducación* de Francisco Mora (2013).

La neurociencia en sí misma no puede proveer el conocimiento necesario para diseñar los enfoques prácticos pedagógicos, no puede consistir meramente en insertar técnicas basadas en el estudio del cerebro en las aulas: se debe establecer una relación recíproca entre la praxis educativa y la investigación neurocientífica (Ibarrola, 2013).

Esta nueva ciencia del aprendizaje, que promulga la OCDE, es la que debe fijar la agenda de la neurociencia educativa (Geake, 2011), basándose en el cumplimiento de cuatro objetivos (Marina, 2012):

- Ayudarnos a comprender el proceso educativo.
- Ayudarnos a resolver los trastornos de aprendizaje de origen neurológico.
- Ayudarnos a mejorar los procesos de aprendizaje y a ampliar las posibilidades de la inteligencia humana, sugiriendo nuevos métodos y validando los que la pedagogía elabora.
- Ayudarnos a establecer sistemas eficaces de interacción entre cerebro y nuevas tecnologías.

La escuela, por ende, no solo debería aprovechar los descubrimientos de la neurociencia, sino también debería demandar a los neurocientíficos una aclaración sobre temas de interés educativo y establecer parte de la agenda en relación a la investigación sobre neurociencias (Marina, 2012).

Algunas de las contribuciones más importantes de la neurociencia a la educación son, siguiendo la revisión de Sousa (2006):

- El cerebro humano se reorganiza a sí mismo continuamente a partir del proceso denominado neuroplasticidad. Este proceso continúa a través de toda la vida, pero es especialmente rápido en los primeros años. Las experiencias que el cerebro infantil tiene en casa o en la escuela influyen en la construcción de los circuitos neuronales que determinan lo que el cerebro va a aprender en la escuela y cómo.
- Mostrar cómo el cerebro adquiere el lenguaje y otras competencias comunicativas.
- Desarrollar programas de ordenador científicamente fundados que ayudan espectacularmente a los niños con problemas de lectura.
- Mostrar cómo las emociones afectan al aprendizaje, a la memoria y al recuerdo.
- Sugerir que el movimiento y el ejercicio mejoran el ánimo, aumentan la masa cerebral, y potencian el proceso cognitivo.
- Seguir el crecimiento y desarrollo del cerebro para comprender mejor la conducta imprevisible de los adolescentes.
- Desarrollar una comprensión más profunda de los ciclos circadianos para explicar por qué enseñar y aprender puede resultar más difícil a ciertas horas del día.

² <https://www.gse.harvard.edu/masters/mbe>

- Estudiar los efectos de la privación de sueño y el estrés sobre el aprendizaje y la memoria.
- Reconocer que la inteligencia y la creatividad son habilidades cognitivas separadas, y que ambas pueden ser modificadas por el entorno y la escuela.

Muchos pedagogos y maestros consideran que los resultados aportados hasta el momento son, en parte, triviales y ya conocidos por la comunidad educativa. Así por ejemplo, Breuer (1997) alertaba sobre la incorporación de posibles interpretaciones incorrectas de la neurociencia, además de la existencia de una distancia demasiado grande entre la investigación científica y las concreciones educativas. Años más tarde Stanislas Dehaene (1999) contestaba que las aplicaciones de la neurociencia cognitiva en la educación no son un 'puente demasiado lejano'. O al menos no deberían serlo: el establecimiento de puentes interdisciplinarios es esencial.

Por el contrario, disponemos ya de otras evidencias empíricas que nos permiten introducir programas educativos innovadores y de las herramientas para estudiar el impacto en el cerebro y la mente de los niños. El aula debe ser nuestro próximo laboratorio. La neurociencia cognitiva ayudará a confirmar y dar explicación sobre muchas de las contribuciones que hasta el momento ha hecho la psicología cognitiva. Parafraseando a Waldegg (2003), estamos ante un escenario nuevo donde soportar hipótesis sobre aprendizaje, basadas en datos reales, provenientes del estudio del cerebro, y no solo a partir de la observación.

2.1.3. Neuroeducación y neurodidáctica

El término neurodidáctica fue introducido por Gerhard Preiss, catedrático de Friburgo y especialista en didáctica de las matemáticas, al propugnar una pedagogía de base neurológica. Según Gerhard Preiss (1998): *esta disciplina parte de la capacidad de aprendizaje de la especie humana e intenta encontrar las condiciones para que su desarrollo sea óptimo*. La idea clave es la convicción de la existencia de una íntima relación entre la plasticidad del cerebro y la capacidad de aprendizaje. Los resultados de estudios neurológicos permiten investigar esta relación. La misión de la neurodidáctica sería pues orientar los conocimientos neurológicos hacia la didáctica y aplicarlos a los procesos de educación y formación humana. Es un primer intento, pionero, de colaboración entre la investigación cerebral y la didáctica.

Hasta ahora, la aproximación al proceso de enseñanza y aprendizaje se ha realizado desde el paradigma de la psicología cognitiva. Desde esta perspectiva se han argumentado y planteado hipótesis diversas sobre cómo los alumnos aprenden, según la observación y el estudio directo. El conocimiento del cerebro, así como las aportaciones de las neurociencias permiten aproximarse y poder explicar algunos de los elementos de la psicología cognitiva, y crear un puente entre la psicología cognitiva y la educación.

La educación es un sistema complejo al que no es posible aproximarse desde una única disciplina. No hay que limitarse a la neurociencia cognitiva, cuando la psicología cognitiva ha realizado importantes avances sobre el aprendizaje y ha aportado valiosas orientaciones hacia un proceso de enseñanza más eficaz. Así como tampoco se pueden obviar los aportes que ha planteado la pedagogía, sobretudo en el siglo XX, respecto a las metodologías y los proyectos educativos.

A este esfuerzo por mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, uniendo los saberes de la neurociencia, la pedagogía y la psicología es lo que se denomina Neuroeducación, como se puede observar en la figura 2 (Salas, 2003; Campos, 2010). Los neurocientíficos, psicólogos y pedagogos están obligados a unir esfuerzos y sinergias desde sus respectivas disciplinas para permitir un cambio en el paradigma educativo (Tokuhami-Espinosa, 2011).

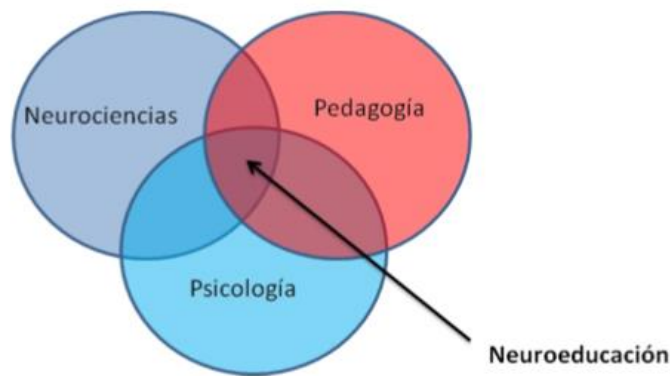


Figura 2. Componentes que sustentan la neuroeducación (Campos, 2010).

A nuestro entender, esta definición de neuroeducación queda coja en un ámbito que no recoge: el aspecto social y la influencia del entorno en el proceso educativo. Es necesario incluir en este punto de encuentro planteado a la sociología, pues el estudio de las condiciones sociales que influyen en los alumnos, como el entorno en el que se desarrolla su cerebro o el efecto de las relaciones sociales que se establecen, interactúa y matiza las aportaciones del resto de disciplinas (así lo hemos propuesto en la figura 3).

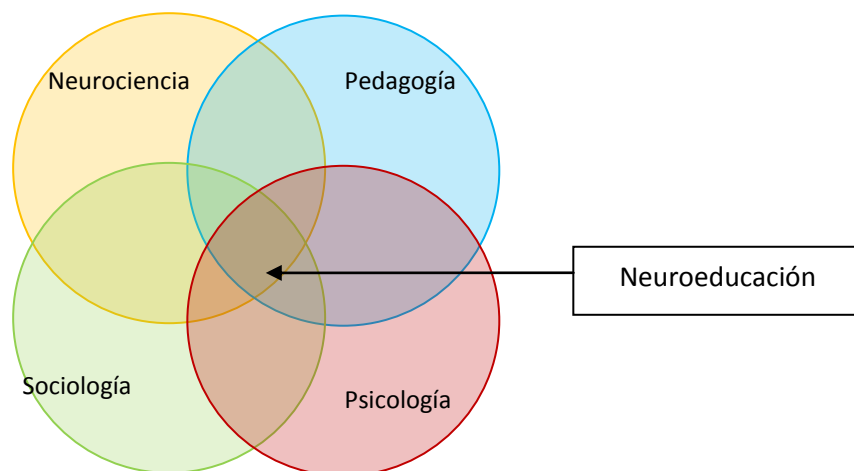


Figura 3. Componentes que sustentan la neuroeducación, incluyendo la sociología. El aprendizaje socioemocional se ha demostrado esencial en los enfoques pedagógicos actuales (Salas, 2003).

Nuestro cerebro es un cerebro social: es decir, se configura con nuestra relación con el entorno y con el otro. El aprendizaje depende enormemente del entorno social en que se encuentre el individuo (Caine, 1997, citado en Salas, 2003). Se produce una adaptación específica de la estructura cerebral en función del entorno, el cual puede variar en gran medida según el contexto social (Singer, 2008). La sociología educativa ya había planteado la relación entre el entorno social del alumno y sus resultados escolares, aportación que la neurociencia nos confirma. Las condiciones sociales de los alumnos influyen en su vida escolar y en sus resultados académicos (Jensen, 2010). Así como la relación que existe entre el entorno socioeconómico y las relaciones familiares con el rendimiento y la planificación de los alumnos (Mayoral et al, 2014).

De hecho, como recoge Meltzoff y colaboradores (2009), además debería considerarse la relevancia de la inteligencia artificial en este nuevo paradigma neuroeducativo, pues se está avanzando mucho en el desarrollo de sistemas automáticos que aprenden mediante el procesamiento de grandes cantidades de datos, aproximándose las máquinas al cerebro humano, en la llamada *Era del Big Data* (Cichoki, 2014).

2.2. Neuroeducación: hacía un cambio de paradigma educativo

El cerebro no piensa, nosotros pensamos el cerebro.

Friedrich Nietzsche

¿Mi cerebro? Es mi segundo órgano favorito.

Woody Allen

2.2.1. Cambio de paradigma educativo

Hace poco más de treinta años los científicos pensaban que la estructura del cerebro se forjaba durante la infancia, pero los estudios actuales han demostrado que es falso. Las aportaciones que está haciendo la neuroeducación sobre las posibilidades de nuestro cerebro son abrumadoras. Las revelaciones sobre la plasticidad neuronal y la capacidad del sistema nervioso que le permite adaptarse y cambiar su estructura nos sitúan ante un escenario nuevo y desconocido hasta hace muy pocos años. No estamos tan solo situados frente un cambio en el conocimiento del cerebro, sino planteando un cambio de paradigma en las teorías del aprendizaje. La educación cambia nuestro cerebro, porque el aprendizaje implica actividad cerebral y modificaciones neuronales.

Eric Jensen en su artículo *Una nueva mirada a la educación basada en el cerebro* (Jensen, 2007) esboza lo que supone este cambio de paradigma:

“Cada educador que se precie de ser profesional debería poder decir. “Esta es la razón por la que hago lo que hago”. Yo preguntaría: “¿Esa persona está realmente involucrada con el uso de lo que sabe, o, simplemente tiene algún conocimiento acerca de ello y, realmente, no lo usa? ¿Los docentes están usando estrategias basadas en la ciencia que estudia cómo funciona nuestro cerebro? La educación basada en el cerebro se centra en el conocimiento de por qué se ha de usar una u otra estrategia. La ciencia se basa en lo que sabemos acerca de cómo funciona nuestro cerebro. Debemos ser muy profesionales y entender el sustento científico que explica nuestras prácticas. Tengan en cuenta que si uno no sabe por qué hace lo que hace, se es menos propositivo y menos profesional.”

En este cambio de paradigma, el educador no puede quedar al margen de los avances y aportes de la neurociencia con respecto al cerebro. Para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje es necesario conocer cómo se producen y qué factores influyen.

2.2.2. Cerebro y aprendizaje

Que el cerebro es un elemento clave en el proceso de aprendizaje es innegable y evidente. En cambio, definir qué significa aprender y su relación con el cerebro es harto complejo. Las definiciones varían en función de la perspectiva desde la que se acerca al proceso de aprendizaje, como veremos.

Des de una óptica neurocientífica podemos encontrar definiciones como la que propone Koizumi (2003), que define el aprendizaje como “el proceso por el cual el cerebro reacciona ante los estímulos y establece conexiones neuronales que actúan como un circuito procesador de información, proporcionando almacenamiento de la información”.

En el informe de la OCDE, *La comprensión del cerebro* (2009), se opta por considerar el aprendizaje como un proceso cerebral donde el cerebro responde a un estímulo, involucrando la percepción y el procesamiento e integración de la información. Los educadores consideran esto como un proceso activo conducente a la adquisición de conocimiento, lo que a su vez implica cambios específicos, perdurables y medibles en el comportamiento.

Y en una visión más intracerebral, un aprendizaje se traduce en una reacción electrobioquímica (Ibarrola, 2013). Al recibir el impulso eléctrico, la neurona abre sus vesículas y expulsará al espacio intersináptico un neurotransmisor, que va pasado de neurona en neurona mediante sinapsis. Finalmente acabará en el torrente sanguíneo para llegar hasta los órganos, donde se ejecutará la señal.

2.2.3. Cerebro

El cerebro es un órgano complejo e enigmático, que históricamente se ha intentado definir a partir de metáforas (Ibarrola, 2013). Desde la comparación del cerebro con un sistema hidráulico que se hacía en la cultura grecorromana, en el Renacimiento se asemejaba a un sistema de fluidos, pasando por el siglo XIX y su símil del telar encantado de Ramón y Cajal hasta llegar a la metáfora de un ordenador utilizada a finales de siglo (Grah y Kumar, 2015). Evolución que lleva a definir el cerebro, en la actualidad, como un sistema complejo (Koch y Laurent, 1999; Montes et al, 2006; Vicente y Mirasso, 2012).

Este órgano incluye dos hemisferios (derecho e izquierdo), cada uno de los cuales se divide además en lóbulos (occipital, parietal, temporal y frontal). Los principales componentes del tejido cerebral son las células gliales y las células nerviosas (neuronas). La célula nerviosa es considerada como la unidad básica de funcionamiento del cerebro debido a su extensa interconectividad y porque se especializa en la comunicación. Las neuronas están organizadas en redes funcionales que están ubicadas en partes específicas del cerebro (Winans y Gilman, 2003; Jensen, 2004; Cardinalli, 2007; Iriarte y Artedia, 2013).

Neuronas, gliales y sistema nervioso

Existen dos tipos de células que constituyen las unidades básicas del cerebro: las neuronas y las glías, con una proporción desigual. Mientras la mayoría son glías (9 de cada 10), las neuronas suponen una minoría, pero son mucho más conocidas y estudiadas.

Se puede considerar las neuronas como la unidad básica de aprendizaje (OCDE, 2007). Cada neurona tiene tres partes distinguibles: un núcleo celular o soma, las dendritas o prolongaciones cortas que le permiten transmitir impulsos, y un axón, que conduce información desde el núcleo hacia las dendritas de otras neuronas formando una red compleja de intercambio de información (Solé, 2009). Las células gliales son tejidos nerviosos del sistema nervioso central que se encuentran intercaladas entre las neuronas y suministran soporte y aislamiento.

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

Las neuronas tienen la capacidad de comunicarse con otras neuronas. A esta conexión entre neuronas se la conoce como sinapsis, y se realiza mediante sustancias químicas, los neurotransmisores. Existen muchos neurotransmisores como la acetilcolina (interviene en los procesos de memoria), noradrenalina (afecta a la atención), la serotonina (afecta los estados de ánimo), etc.

Destaca en neuroeducación la dopamina, como un neurotransmisor asociado a los procesos de motivación y recompensa (Smith et al., 2005). La neurociencia ha estudiado como el pensamiento positivo, ligado al córtex prefrontal del hemisferio izquierdo, libera en esta situación dopamina para activar los circuitos de recompensa (Waelti, Dickinson y Schultz, 2001).

Existen, por ejemplo, estudios realizados con ratas (Bao, Chan y Merzenich, 2001), donde se demuestra que estimulando zonas cerebrales constituidas por vías de dopamina, cambia nuestra percepción de sonidos escuchados. Dichas variaciones se producían al escuchar los sonidos mientras se estimulaba eléctricamente el circuito de gratificación de la dopamina. Es decir, el aprendizaje de la tarea sonora se vincula a la activación del circuito donde opera la dopamina como neurotransmisor (Blood y Zatorre, 2001; Salimpoor, 2011). En la práctica educativa, se puede relacionar la activación de recompensas provocado por la dopamina con la construcción de aprendizajes (Waelti et al, 2001; Navarro et al., 2005). De manera que, las emociones y la novedad estimulan estos circuitos de dopamina que facilitan el aprendizaje (Salamone y Correa, 2012; Mora, 2013).

La comunicación entre las neuronas está influenciada sobre todo por dos factores: el número de conexiones y el efecto de los neurotransmisores (Kandel et al., 2001). El aumento del número de conexiones entre neuronas se conoce como sinaptogénesis. Mientras que la reducción de estas sinapsis se conoce como poda. Estos cambios dan cuenta del reforzamiento o debilitamiento de las conexiones sinápticas existentes, y son imprescindibles para el aprendizaje (Machado et al., 2008; Feinstein, 2009; Casey y Jones, 2010).

Plasticidad neuronal

Probablemente el descubrimiento más importante de la neurociencia es que la plasticidad del cerebro humano es mayor de lo que se pensaba. El cerebro humano es extraordinariamente plástico, con capacidad para cambiarse y adaptar su estructura a lo largo de la vida (Junqué y Barroso, 2009). Educativamente es un aspecto fundamental, ya que permite afirmar que el aprendizaje se produce en cualquier momento y al largo de toda la vida, creando nuevas neuronas y conexiones entre ellas (Gómez-Fernández, 2000).

La neuroplasticidad es un proceso mediante el cual las neuronas son capaces de aumentar el número de conexiones de forma estable, como consecuencia de la experiencia, el aprendizaje y la estimulación (OCDE, 2007). Según el concepto de neuroplasticidad, el sistema nervioso es un producto nunca terminado, es el resultado, siempre cambiante y cambiabile, de la interacción de factores genéticos y epigenéticos (Olivé, 2001).

Una evidencia sobre el efecto de la plasticidad cerebral en la capacidad de aprendizaje se encuentra en un estudio realizado a los taxistas de Londres (Maguire et al. 2000). Dicho estudio corroboraba como la región del cerebro encargada del aprendizaje y memoria espacial (necesaria para la orientación y conducción) era mayor en los taxistas que en los otros conductores. Y dentro del mismo grupo de taxistas, se podían observar diferencias entre los más expertos y los taxistas noveles.

Se puede concluir, a partir de la plasticidad cerebral, que todos los alumnos pueden aprender y progresar. Y por tanto, todo y que existen condicionamientos genéticos, las expectativas del profesorado hacia los alumnos deben ser positivas. Es necesario, como docentes, huir de los prejuicios basados en experiencias negativas anteriores con los alumnos.

Un tema de debate dentro de las neurociencias y la psicología es la modularidad cerebral. Según esta concepción la mente estaría constituida por conjunto de módulos especializados en un tipo de proceso o actividad (Fodor, 1986). Esta propuesta sería contraria a la consideración de la mente como una estructura o sistema competente en cualquier contenido concreto de aprendizaje, donde se situarían propuestas de la psicología cognitiva como las de Piaget (García y Carpintero, 2000).

En neuropsicología cognitiva se ha aplicado la visión modular de Fodor, pese a no admitirse plenamente, para explicar el funcionamiento de la memoria operativa, semántica o episódica. Y en el campo de las neurociencias para explicar la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner (1998) donde los módulos constituirían cada una de las inteligencias (lingüística, lógico-matemática, espacial, musical, cinético-corporal, interpersonal e intrapersonal) (Curto, 2003). La teoría de las inteligencias múltiples supone una nueva concepción de la mente partiendo de la modularidad cerebral. Este nuevo enfoque ha significado una gran revolución frente a las teorías tradicionales de la mente y está siendo objeto de abundantes líneas de investigación dentro de los campos de la psicología actual (García y Barnett, 2005).

Neuronas espejo e imitación

Las neuronas espejo fueron descubiertas en 1991 por un equipo de investigación que estudiaba los circuitos neuronales de los chimpancés (Rizzolatti et al. 1996). Descubrieron que en la zona premotora del córtex, un grupo de neuronas se activaba exactamente igual si los chimpancés ejecutaban unos determinados movimientos, como si los veían hacer a otros monos o personas. De este origen su nombre, ya que actúan dentro del cerebro como si reflejaran las acciones de otros. Y supone la explicación al porqué los chimpancés podían imitar a otros, y suponía un elemento imprescindible en el aprendizaje.

Posteriormente se ha estudiado las neuronas espejo en el cerebro humano, donde se han encontrado presentes en zonas como los centros de lenguaje, la empatía, las emociones o el dolor (Iacoboni, 2009). Las neuronas espejo tienen un papel imprescindible en la comprensión de las conductas de los otros, en el aprendizaje por imitación y en el procesamiento del lenguaje. Su papel en la evolución del lenguaje es muy importante, ya que permiten la imitación de la vocalización y la interpretación de las intenciones (Iacoboni, 2009). Contribuyen a todos nuestros aprendizajes sociales, ya que nuestro diseño cerebral facilita la comprensión mutua entre seres humanos y la presencia de las neuronas espejo enfatiza y justifica a nivel cerebral nuestra definición como seres sociales (Ramachandran, 2012).

Aprender a través de la observación y la imitación es un potente elemento de aprendizaje social (Arriaga et al., 2006). Los niños y niñas son capaces de imitar una gran cantidad de elementos, desde patrones de los padres como el habla, al uso de instrumentos para realizar actividades (como puede ser el uso de teléfonos móviles o tabletas). La imitación acelera el proceso de aprendizaje y multiplica las oportunidades. Esto se debe al hecho que el aprendizaje por imitación es más rápido que si sucede por descubrimiento individual, y más efectivo que el obtenido por ensayo-error (Meltzoff et al., 2009).

Es necesario remarcar que la imitación no es una simple copia de lo que se observa, sino que sucede recreando los objetivos e intenciones de la persona imitada. Por ejemplo, en el caso de un adulto que intenta separar un objeto pero se le cae de las manos. Incluso un bebé de 18 meses utiliza el patrón de intentos fallidos del adulto para encontrar una solución no mostrada hasta el momento. Los niños buscan una solución para el objetivo que el adulto intentaba conseguir, y no hacen copia de los intentos fallidos (Meltzoff et al, 2009). Incluso los bebés de días son capaces de imitar expresiones faciales, y en pocas semanas de vida ya manifiestan emociones básicas como la alegría o el enfado (Warneken y Tomasello, 2007).

Des de la perspectiva educativa, el aprendizaje por imitación es un factor imprescindible, en especial los elementos relacionados a un aprendizaje social. Destacar, en este sentido, el trabajo cooperativo como opción donde los alumnos con más facilidades para desarrollar ciertas tareas educativas pueden colaborar con los compañeros que muestran más dificultades.

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

2.2.4. Aportaciones al nuevo paradigma educativo

Emoción

La emoción es un factor determinante para la adquisición de cualquier aprendizaje (Mora, 2013; Timoneda y Pérez, 1999). Waldegg (2003) menciona que la emoción es la puerta y la conexión directa al aprendizaje. Las emociones matizan los significados: el estado emocional proporciona información para la formación de significados, es la relación inseparable entre la cognición y la emoción. Y, por tanto, la necesidad de cuidar la parte emocional es indispensable para el aprendizaje, en tanto la base afectiva emocional es necesaria para que la motivación y el aprendizaje puedan suceder (Bisquerra et al., 2012).

La neurociencia ha demostrado que las emociones mantienen la curiosidad, nos sirven para comunicarnos y son imprescindibles en los procesos de razonamiento y toma de decisiones, es decir, los procesos emocionales y los cognitivos son inseparables (Damasio, 2006).

Las emociones positivas tienen efectos beneficiosos sobre el aprendizaje, ya que están relacionadas con la atención, la memoria, la creatividad y la resolución de problemas. Cuando se muestran imágenes que provocan estímulos positivos, negativos o neutros, las zonas cerebrales que se activan son diferentes. Como respuesta a las imágenes que crean estímulos positivos se activa el hipocampo, que favorece los procesos de memoria y aprendizaje, mientras que con los estímulos negativos se activa la amígdala (Erk et al., 2003). De toda esta investigación se puede concluir la necesidad de crear climas emocionales positivos y seguros en las aulas, como refuerzo al proceso de aprendizaje.

Las neuronas espejo son en parte responsables de la empatía. Es necesario saber reconocer e interpretar las emociones, y para ello es imprescindible un ambiente social y/o familia donde no se escondan o se haga burla de ellas. En este mismo sentido hace falta una reflexión profunda sobre el papel de la educación emocional en los centros educativos. Incluso los bebés de pocos meses ya son capaces de mostrar actitudes altruistas (Warneken, 2007). Existen experiencias donde un adulto simula una herida y finge llorar delante de un niño menor de 3 años, y este tiende a acercarse al adulto para consolarlo con gestos empáticos, e incluso entregarle objetos muy valiosos para él como un oso de peluche (Meltzoff et al., 2009). La emoción, la empatía, la compasión son un elemento central en la neurociencia que estudia el desarrollo sociocognitivo de las personas y su implicación en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Mora, 2013).

En buena parte, el estado emocional de un aula depende del docente. Las investigaciones sobre esta cuestión resaltan que la comunicación no verbal, las expresiones verbales, el tono de voz y la predisposición del profesorado en el aula permiten a los alumnos valorar al docente que tienen enfrente (Ambady y Rosenthal, 1993).

La educación de las emociones puede convertirse en un elemento imprescindible para la mejora del aprendizaje. Un estudio realizado a más de 500.000 alumnos de diferentes edades (de infantil a secundaria), destacaba que allí donde se desarrollaban programas sistematizados de educación emocional repercutía favorablemente en el desarrollo integral de los alumnos: reducción de problemas de disciplina, más motivación, mejores resultados académicos y actitudes y relaciones más positivas (Bisquerra et al., 2012).

Memoria

El aprendizaje es un proceso activo resultado de la experiencia que conlleva cambios en el cerebro. Muchos neurocientíficos consideran la memoria y el aprendizaje dos caras de la misma moneda, ya que la memoria está influenciada por los mismos factores que el aprendizaje (Ibarrola, 2013). Siguiendo el estudio, citado anteriormente, de Erk et al. (2003) se puede establecer la relación directa entre memoria y emociones. Utilizando la técnica de la resonancia magnética funcional, se mostraba a los participantes unas imágenes que provocaran un estímulo positivo, negativo o neutro, y una serie de palabras que debían memorizar. Las

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

palabras menor recordadas eran aquellas que se producían con los estímulos positivos, demostrando como el contexto emocional afectaba al proceso de memorización.

Atención

Mora (2013) define la atención como “una ventana que se abre en el cerebro a través de la cual se aprende y se memoriza la información que procede del mundo que nos rodea”. Como conseguir la atención de los alumnos es un aspecto que la psicología y la neurociencia cognitiva empieza a resolver. El principal reclamo de atención que se puede hacer es evocar la curiosidad o la novedad. En este caso, la curiosidad se convierte en el estímulo inicial que es capaz de abrir el foco de la atención necesario para el proceso de aprendizaje (Davidson et al., 2012).

La neurociencia cognitiva ha demostrado la dificultad para aprender a menos que exista una cierta motivación, tenga algún significado o despierte la curiosidad. Es necesario el estímulo inicial de la atención para aprender. La neurociencia viene a confirmar lo que hace tiempo plantea la pedagogía sobre la necesidad de realizar con los alumnos aprendizajes significativos (Ausubel y Novak, 1976).

En la reflexión sobre la atención hay que tener presente la dificultad de mantener una atención sostenida en el tiempo. Según estudios realizados la barrera se sitúa sobre los quince minutos (Jensen, 2004). Jugar al ajedrez, por ejemplo, puede aumentar la capacidad matemática y la comprensión lectora porque aumenta la atención (Margulies 1992; Gaudreau 1992; Gairín y Fernández, 2010).

Estrés y emociones negativas

Los estados emocionales provocados por emociones negativas como el temor, la inseguridad o el estrés afectan al aprendizaje y a la memoria (Traveset, 2006). Los estudios cerebrales han iluminado cómo las emociones negativas bloquean el aprendizaje y han identificado que la amígdala, el hipocampo y las hormonas del estrés juegan un papel crucial en la mediación de los efectos de las emociones negativas (LeDoux, 1999; Damasio, 2006).

El estrés produce un aumento de cortisol, y si el estrés es continuado, el cortisol daña el hipocampo y la capacidad de aprendizaje (Joseph-Bravo y De Gortari, 2007). Ayudar a los alumnos a rebajar los niveles de estrés, es ayudar al funcionamiento de su cerebro y facilitar el aprendizaje. Hay muchos niños que sienten fobia escolar, que viven en una situación de estrés permanente, y enseñarles a relajarse, mediante la respiración o la concentración, tiene grandes beneficios (Siegel, 2010). Algún nivel de estrés es esencial para una adaptación óptima a los desafíos ambientales y puede llevar a una mejor cognición y aprendizaje, pero más allá de este nivel puede ser dañino, física y mentalmente (OCDE, 2007).

Sueño y horarios

Dormir es crucial para la salud de nuestro cuerpo y el cerebro. Además es el momento del día de consolidación de la memoria y de los aprendizajes realizados (Mora, 2013). La falta de sueño afecta negativamente a aspectos tan importantes para el aprendizaje como la memoria, la atención, la capacidad de razonar, etc. El rendimiento en el proceso de aprendizaje se ve muy mermado cuando se reduce el sueño (Stickgold et al., 2000).

El cerebro del adolescente requiere dormir más horas porque hormonas asociadas al sueño como la melatonina alcanzan niveles mayores en esa franja de edad (Medina, 2009). La adolescencia supone un momento de cambio en las rutinas del sueño. El cerebro retrasa la hora de ir a dormir y la de despertarse (Jensen y Snider, 2013). Y es justo en este momento

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

cuando los centros educativos tienden a avanzar los horarios de inicio de las clases. Todo y las dificultades organizativas y familiares, sería ideal adaptar los ritmos escolares a los biológicos. Existen diversos informes que avalan esta tesis: Edwards (2012) comprobó que los resultados académicos de las escuelas que habían retrasado su horario de inicio eran mejores que las escuelas que habían avanzado; y Carrell et al. (2011) estudió como un retraso de 50 minutos en el inicio de las clases implica mejoras sustanciales en los rendimientos académicos de los alumnos.

Salud y alimentación

El sistema inmunológico juega un papel central en el aprendizaje, la memoria y la plasticidad neuronal (OCDE, 2007). En condiciones normales, los mecanismos inmunes regulan adecuadamente los circuitos neuronales, la consolidación de la memoria y la neurogénesis. En cambio, cuando el sistema inmunológico está fuertemente activado por infección o lesión, las células cerebrales inmunes cambian su morfología y función, alterando el equilibrio neurofisiológico y produciendo efectos perjudiciales sobre la memoria, la plasticidad y la neurogénesis (Yirmiya y Goshen, 2011).

La alimentación es uno de los factores que influye en como el cerebro aprende. Muchos menús de comedores escolares han sido pensados para el crecimiento de los huesos y músculos, pero no para las exigencias del cerebro (Jensen, 2004). La dieta típica de las sociedades occidentales, más industrializadas, rica en grasas saturadas y azúcares refinados, puede influir negativamente en la estructura y función del cerebro, afectando al aprendizaje y a la memoria (Molteni et al. 2002). Para un buen rendimiento escolar, sería necesario realizar un desayuno rico en cereales, frutas y lácteos antes de iniciar la jornada escolar. Así se conseguirían mejoras en los resultados académicos y de conducta (Ibarrola, 2013).

Además, el cerebro necesita agua para funcionar correctamente, ya que le aporta el equilibrio electrolítico para su funcionamiento. Según Hannaford (1995, citado por Jensen, 2004), la deshidratación es un problema común en las aulas, lo que ocasiona problemas de aprendizaje.

Ejercicio físico

Al realizar ejercicio físico (principalmente el ejercicio aeróbico) el cerebro incrementa la producción de BDNF (del inglés, factor neurotrófico derivado del cerebro) (Erickson et al., 2011). La producción de la molécula BDNF promueve la creación de nuevas neuronas y de nuevas sinapsis en algunas áreas del cerebro como el hipocampo, zona implicada en la consolidación y gestión de la memoria. También se observa una mejora global en las funciones cognitivas como la atención, la motivación o la toma de decisiones. La realización de unos breves ejercicios antes de iniciar una clase (como mover los brazos o saltar sin desplazarse) puede mejorar el rendimiento de los alumnos (Blakemore, 2011; Ortiz, 2009).

Después de realizar ejercicio físico se incrementa la sensación de bienestar: aumenta el estado de ánimo, el optimismo, el ánimo, el optimismo, el interés,... Estos efectos se producen como consecuencia de liberar endorfinas, las cuales generan sensación de bienestar, de placer, reducción de estrés, optimismo, y están relacionadas con la concentración y la atención.

Juego

El juego es elemento imprescindible en el proceso de crecimiento y maduración de los niños y niñas (Bañeres et al., 2008). Despierta su curiosidad, es estimulante y ayuda a trabajar destrezas y habilidades (Forés y Lligoiz, 2009). Los mecanismos cerebrales permiten aprender jugando ya a los bebés de pocos meses de edad. El mecanismo consiste en liberar dopamina,

que provoca que el juego, y la incertidumbre de este provoquen una recompensa cerebral que facilita la transmisión de información en los mecanismos cerebrales (Willis, 2011).

Insertar el juego, o dinámicas de juego, en las aulas puede servir para facilitar el aprendizaje. Mejora la creatividad, la autoestima, la socialización y trabaja la toma de decisiones. Integrar un elemento lúdico en la escuela es importante porque estimula la curiosidad y la motivación, elementos imprescindibles para el aprendizaje (Kapp, 2012; McGonigal, 2011). Por tanto se puede afirmar que los alumnos aprenden jugando. Mora (2013) sintetiza muy bien esta idea al definir el juego como “un invento poderoso de la naturaleza. El instrumento del juego, combinación de curiosidad y placer, es el arma más poderosa del aprendizaje”.

Desde esta perspectiva, se está desarrollando en los últimos años una tendencia pedagógica que promueve una mayor introducción del juego en las aulas, y que se conoce como *gamificación* de la educación (Karl, 2012).

Neuromitos

En años recientes, ha surgido un creciente número de conceptos erróneos en relación con el cerebro, originados por errores de interpretación de los descubrimientos científicos. Son los llamados neuromitos. La OCDE en su informe *La comprensión del cerebro* (2007) ya alertaba sobre los neuromitos y su aplicación educativa. Este aspecto es uno de los ámbitos de trabajo donde es más urgente establecer puentes entre los neurocientíficos y los educadores.

Tokuhami-Spinosa (2001) ha listado los principales mitos sobre el cerebro. Citando los más destacados podemos nombrar:

- a) Los humanos utilizamos el 10% del cerebro. Las nuevas técnicas de neuroimagen han demostrado que la actividad cerebral es del 100 %, aunque la activación de las diferentes regiones cerebrales al realizar una tarea es desigual y la energía invertida es mayor en procesos de aprendizaje que cuando se domina la tarea.
- b) El cerebro tiene una capacidad ilimitada. Toda realidad material tiene límites. Sin embargo, el cerebro es un estupendo gestor de sus propias capacidades y al adquirir el dominio en una tarea, menor cantidad de energía debe utilizar en ella, por lo que su capacidad se amplía.
- c) Todo lo importante para el cerebro sucede antes de los 3 años. No es verdad, porque la capacidad de aprendizaje es continua, gracias a la plasticidad cerebral. Aunque si es cierto que algunos aspectos de la adquisición del lenguaje, como la fonética, se han mostrado bastante críticos en los primeros años de edad (Palomar, 1996).

3. Una propuesta neuroeducativa

3.1. Neuroeducación: Estudios prácticos previos

El gran tema en toda nuestra educación es convertir al sistema nervioso en nuestro aliado y no en nuestro enemigo.

William James. (The principles of psychology, 1890)

Todo y los avances en escáneres, visualizaciones y conocimiento sobre el cerebro, existen dificultades para valorar los efectos de aplicar elementos neurodidácticos en las aulas. En cierta medida, es una disciplina joven, y aún no disponemos de estudios completos sobre ellos. Disponemos de estudios sobre el cerebro, los resultados de los cuales intentamos aplicar y leer en clave educativa. La investigación educativa avanza al respecto, y como hemos visto en el punto 2.1.2, cada vez son más los centros dedicados al estudio e investigación neuroeducativa. Un ejemplo sobre el avance en estos estudios y su dimensión lo tenemos en el estudio neurocognitivo e interdisciplinar realizado en Japón para una cohorte de 1400 niños entre 2004 y 2009 (Zentaro Y. et al., 2010). Con previsión que dicho estudio se pudiera ampliar hasta 10.000 niños durante 10 años, y hacer un seguimiento de la maduración del cerebro en diferentes momentos de escolarización (Konishi, 2005).

3.1.1. Estudios del cerebro con vinculación y aplicaciones en educación

En este apartado hemos seleccionado solo algunos de los principales estudios neurocientíficos que poseen repercusiones importantes en el mundo educativo. Entre ellos analizaremos estudios sobre plasticidad cerebral, la motivación y los circuitos de recompensa, la cooperación o el efecto del estrés.

Plasticidad cerebral

Maguire y colaboradores (2000) redactaron un estudio sobre la plasticidad cerebral a partir del estudio realizado a un grupo de taxistas de Londres.

Ser taxista, en una gran ciudad con un amplio callejero como Londres, resulta una tarea compleja. El simple acceso a la licencia ya requiere superar una prueba donde es necesario memorizar unas veinticinco mil calles. Dicho estudio analizó y comparó, mediante escáneres cerebrales, el hipocampo (estructura cerebral relacionada con los procesos de memoria espacial) de un grupo de taxistas, respecto a un grupo de control de las mismas edades pero de otra profesión. El resultado de las medidas fue claro: los taxistas tenían la región del hipocampo más desarrollada que el grupo control. Y dentro del grupo de taxistas, mayor era el hipocampo en aquellos con más experiencia. Maguire y colaboradores (2000) argumentaron que la experiencia y el uso influyen en el funcionamiento y la estructura cerebral. Y como dicho efecto no se restringe a una corta edad, sino que se mantiene aún en la edad adulta.

Destacar dos lecturas del estudio en clave educativa:

- La plasticidad del cerebro nos sitúa, como docentes, ante un paradigma positivista en relación al aprendizaje de nuestros alumnos. Con trabajo, esfuerzo y experiencia todo

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

alumno puede mejorar. Por tanto hay que evitar los condicionamientos negativos en el aprendizaje.

- La plasticidad cerebral tiene lugar también en la edad adulta. Por tanto es necesario reivindicar el aprendizaje al largo de la vida, no solo como algo necesario en un mundo cambiante como el nuestro, sino como una realidad posible.

Estudio: Maguire, E. A. et al. (2000): *Navigation-related structural change in the hippocamp of taxi drivers*. PNAS 97.

Motivación y recompensas

El estudio realizado por Waelti et al. (2001) planteaba la relación entre la recompensa y el aprendizaje a partir de los circuitos de dopamina.

Este estudio pone de relieve como el aprendizaje se bloquea cuando el estímulo se empareja a una recompensa totalmente predecible. Analizando las respuestas de las neuronas de dopamina, se comprobó que se activaban cuando el organismo tenía una determinada expectativa y la respuesta conductual era mejor de lo esperada. Tanto el aprendizaje neuronal como conductual se produjo sobre todo cuando las neuronas de dopamina registraron una recompensa diferente a la esperada. Por tanto, lo importante para el aprendizaje es la anticipación de la recompensa y no el simple premio.

Los procesos de aprendizaje se deben basar en experiencias positivas (recompensas), y aprovechar la curiosidad de nuestros alumnos (no importa la recompensa, sino lo inesperado de ella). Los factores de motivación que liberan dopamina deben combinar los dos aspectos citados anteriormente, donde es básico destacar la necesidad de un clima de aula positivo entre compañeros (el elogio de compañeros es un factor importante para liberar dopamina) y con los docentes.

Estudio: Waelti, P.; Dickinson, A.; Schultz, W. (2001): *Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory*, Nature 412.

Cooperación

A partir del estudio del comportamiento de un grupo de mujeres frente al dilema del prisionero, Rilling et al. (2002) demostraron como los comportamientos cooperativos activaban el sistema de gratificaciones, y por tanto se reforzaban estos comportamientos.

El estudio consistía en enfrentar a 36 mujeres al dilema del prisionero³ y estudiar su sistema neuronal según el comportamiento y la situación que se daba. Se demostró que cuando cooperaban entre ellas se activaba el sistema de motivación y gratificación de la dopamina, reforzando el comportamiento cooperativo, generándose más altruismo y ayudando a aplazar la recompensa.

Desde la perspectiva educativa, el estudio plantea la necesidad de un aprendizaje en el aula no individual, ni competitivo, sino un aprendizaje cooperativo. Plantear actividades para que los propios alumnos puedan compartir conocimientos (exposiciones, conferencias de los alumnos, trabajo de expertos,...), y favorecer la cooperación entre alumnos de diferentes edades, abarcando la interacción social entre el conjunto de la comunidad educativa.

³ El dilema del prisionero es un problema fundamental de la teoría de juegos que muestra diversos escenarios sobre la cooperación entre dos personas.

Al participar en actividades cooperativas, el cerebro de los alumnos libera dopamina, que favorece el almacenamiento de la información y memoria a largo plazo y reduce la ansiedad (Willis, 2007). Las actividades cooperativas promueven la naturaleza social del aprendizaje, haciendo que los alumnos participen más y sean más protagonistas, mejorando su aprendizaje (Hattie, 2009).

Estudio: Rilling et al. (2002): *A neural basis for social cooperation*, Neuron, 35.

Estrés

El estudio realizado por Bodden y colaboradores (2015) sobre un grupo de ratones, analizaba las respuestas, tanto de crías como de adultas, según las condiciones en las que crecían.

En este estudio se separaron crías de ratones en dos grupos, haciendo crecer a un grupo en una situación neutral, y al segundo grupo en situación adversa, colocando periódicamente en su jaula a un macho adulto, sabiendo que estos muestran un comportamiento agresivo con otros machos, sobre todo con los más jóvenes. El objetivo era provocar situaciones de estrés en este segundo grupo. Al llegar a la edad adulta, cada uno de los dos grupos se subdividió en dos grupos, volviendo a plantear a un grupo situaciones adversas y al otro neutrales. Así era posible examinar la respuesta en la edad adulta a situaciones adversas, tanto para el grupo que había crecido en condiciones adversas como para el que no. Finalmente se valoró el grado de ansiedad delante las dificultades, que depende del estrés, i el comportamiento explorador, que evalúa la facilidad con que un individuo busca soluciones a un problema puntual.

Los resultados mostraron que los ratones crecidos en situaciones adversas, mostraban de adultos un mayor nivel de estrés frente la misma situación que el grupo de ratones crecido en situación neutral, así como un comportamiento explorador peor. En cambio, el grupo de ratones que gestionaron mejor el estrés y con mayor comportamiento explorador era el grupo crecido en situación normal, pero que de adultos habían estado sometidos a situaciones adversas.

El caso del grupo criado en situación adversa, se refiere a una situación sostenida durante ese periodo, no algo puntual o esporádico. Haciendo la traslación correspondiente, sería el caso de aquellos niños y niñas que crecen en entornos sociales (de pobreza, violencia, etc.), familiares (desestructurados, violentos, etc.) o escolares (con acoso escolar, *bullying*, etc.) conflictivos, donde las adversidades se producen con frecuencia. Como resultado, las adversidades vividas no les habrían ayudado a gestionar mejor las adversidades en la vida adulta (Bueno D., 2015).

Creecer en un ambiente beneficioso permitirá a los niños y niñas gestionar mejor el estrés. Y posteriormente al llegar a la adolescencia enfrentarse a retos a superar estimulará su comportamiento explorador. Resulta imprescindible, cuidar en la medida de lo posible, el entorno familiar y escolar de los alumnos.

Estudio: Bodden et al. (2015). *Benefits of adversity?! How life history affects the behavioral profile of mice varying in serotonin transporter genotype*. Front. Behav. Neurosci. 9:47. doi: 10.3389/fnbeh.2015.00047

3.1.2. Estudios neuroeducativos

En el presente punto, analizaremos algunos de los estudios actuales que se han realizado sobre neuroeducación, como son la influencia de las emociones en el aprendizaje, el ejercicio físico o la educación artística.

Educación emocional

El siguiente informe tiene un largo recorrido analizando la influencia de la educación emocional sobre el aprendizaje y estudiando su implantación en diversos países.

Estudio internacional sobre la situación de la educación emocional y social a nivel mundial. En las sucesivas ediciones se ha ido ampliando el número de países, alumnos y centros que participan, tanto de educación infantil, primaria y secundaria. El estudio destaca que la educación emocional facilita el crecimiento integral de niños y jóvenes, promueve su éxito académico, sirve de estrategia preventiva frente a posibles problemas en su desarrollo y, además, contribuye a la mejora y protección de la salud, física y mental, de los jóvenes (Clouder C. et al., 2008).

Más allá de generar climas de aula positivos que faciliten el aprendizaje, resulta imprescindible incorporar en los centros programas de educación emocional y fomentar dichas competencias.

Informe: Clouder C. et al. (2008). *Informe Fundación Botín: Educación emocional y social. Análisis internacional*. Santander, Fundación Marcelino Botín. Ediciones 2008, 2011, 2013 y 2015.

Ejercicio físico

Este estudio realizado en Suecia por Aberg et al. (2009) constata la premisa neurocientífica que el ejercicio físico mejora el aprendizaje.

Un estudio realizado a 1.221.727 de suecos (hombres), que relaciona como los cambios en la aptitud cardiovascular entre los 15 y 18 años predecían la capacidad cognitiva a los 18 años (figura 4). El estudio también constató como los cambios de la resistencia aeróbica durante la adolescencia guarda relación con el nivel socioeconómico y los logros académicos en la edad adulta.

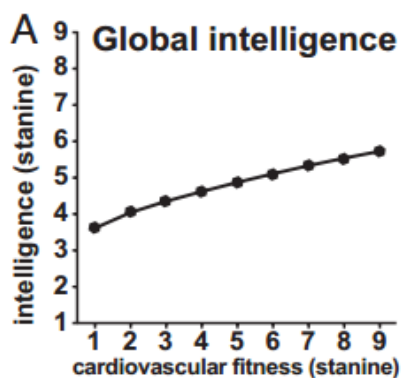


Figura 4. Relación entre capacidad intelectual y resistencia aeróbica (Aberg et al., 2009)

El estudio pone en valor las clases de educación física en los centros, más allá del propio valor como materia, como condicionante relevante en la capacidad cognitiva de nuestros alumnos. El movimiento y la actividad física deben formar parte de la jornada escolar. Un ejercicio al iniciar una clase mejora en los alumnos su predisposición física y psicológica hacia el aprendizaje, con mayor motivación y atención (Blakemore y Frith, 2011).

Estudio: Aberg et al. (2009). *Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood*, PNAS.

Educación artística

El estudio de Wandell et al. (2008) analizaba la correlación entre diferentes aprendizajes artísticos y la competencia lectora.

En un estudio con 49 niños, de 7 a 12 años de edad, se estudiaron los efectos de la educación artística (artes visuales, música, danza y teatro) en la competencia lectora. El estudio destacaba una mayor correlación entre la formación musical durante un año, y la mejora en la fluidez lectora durante un período de tres años (figura 5).

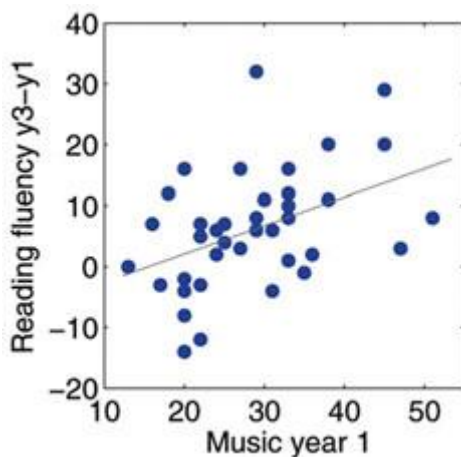


Figura 5. Relación entre formación musical y fluidez lectora (Wandell et al., 2008)

En la figura 5, observamos como en el eje horizontal aparecen las horas dedicadas al entrenamiento musical el primer año. En el eje vertical se muestra la mejora en la capacidad lectora entre el primer año y el tercero.

La correlación no implica que la formación musical causara la mejora en la competencia lectora. El estudio destacaba la posibilidad que los niños intelectualmente más capaces de una formación musical estén más preparados, también, para una mejor lectura.

El estudio también detectó, fuera de los objetivos iniciales, una fuerte correlación entre la exposición a las artes visuales y una mejora en el cálculo matemático.

La educación artística debe formar parte del currículo escolar, pero no solo como unas materias más en el plan de estudios. No es solo cuestión de aprender a dibujar, pintar u observar obras de arte, sino que este tipo de habilidades y sensibilidad artística se debe incorporar en otras asignaturas, de manera transversal, haciendo del arte un aspecto cotidiano.

Estudio: Wandell et al. (2008): "Training in the arts, reading and brain imaging" en "Learning, arts and the brain: the Dana Consortium Report on Arts and Cognition", Dana Press.

3.2. Aportaciones pedagógicas de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología.

Por primera vez en la historia de la humanidad tenemos a mano el medio para realizar un verdadero cambio en educación. Es un vasto y nuevo acercamiento que se asienta en una base de conocimientos científicos: la educación compatible con el cerebro.

Leslie Hart

En este apartado veremos los principales elementos que, con una base neuroeducativa más o menos establecida, se aplican en la actualidad en la enseñanza y aprendizaje de la tecnología. Nos referimos tanto a metodologías como a pedagogías y a elementos organizativos que son aportaciones relevantes en el contexto educativo actual, en consonancia con los avances neuroeducativos. En concreto, revisaremos:

- Mapas mentales.
- Horarios escolares y sesiones.
- Aprendizaje cooperativo.
- Aprendizaje basado en problemas.
- El taller de tecnología.
- La *gamificación*.
- Arte y creatividad.

3.2.1. Mapas mentales

Un mapa mental es una forma de representación gráfica de ideas y conceptos alrededor de una palabra clave o imagen. Parte del concepto de pensamiento irradiante, ya que desde una idea central o imagen se organiza la información conectando los conceptos a partir de la idea principal. Se considera una técnica promovida por el escritor y psicólogo Tony Buzan en su libro *Como utilizar tu mente* (1987).

Para entender la potencialidad de los mapas mentales es necesario puntualizar las maneras como los alumnos asimilan los contenidos. Sólo el 15% de la población estudiantil asimila los contenidos escuchándolos, y casualmente, coincide con los alumnos con buenos resultados académicos en aquellas asignaturas con una fuerte transmisión oral de la información. La zona del cerebro que capta y procesa los estímulos auditivos es menor y con menos conexiones que en relación a los estímulos visuales. El aprendizaje mediante estímulos visuales es predominante en cerca del 40% del alumnado, el cual necesita reforzar los contenidos educativos mediante ilustraciones, diagramas, imágenes, gráficos,... (Bueno, 2015).

El cerebro recuerda mucho más la información cuando esta es visual, o como mínimo, cuando es capaz de asociar un concepto a una imagen. Para poder crear una imagen mental de cualquier cosa que recordemos, el cerebro ha tenido que transformar las palabras en imágenes y cuanto más llamativas hayan sido esas imágenes, mejor las habremos recordado. La utilización de mapas mentales comporta que el alumno utilice mayores regiones cerebrales al escribir y sistematizar la información, que si solamente oye pasivamente la información

(Ramírez et al., 2005). Es una herramienta de asociación, interrelación, descripción y ejemplificación de contenidos, con un alto poder de visualización. El ejercicio de elaboración de mapas conceptuales fomenta la reflexión, el análisis y la creatividad.

Los conceptos son considerados como herramientas mentales para designar cierta imagen de un objeto o de un acontecimiento que se produce en la mente del individuo. Para expresar al máximo la potencialidad del mapa mental hay que tomar como centro una imagen en lugar de una palabra, y usar siempre que se posible imágenes en lugar de palabras o combinar ambas. La combinación de estas dos habilidades corticales (palabras e imágenes), multiplica las zonas del cerebro activadas, especialmente cuando uno crea sus propias imágenes.

Los mapas mentales despiertan la capacidad de visualización. Y, allí donde el cerebro desarrolla su poder de crear imágenes, para visualizar las ideas, también está estimulando su capacidad de pensar y de percepción, así como la memoria y la creatividad. Los mapas mentales son una herramienta eficaz para el pensamiento porque permiten esbozar las ideas principales y ver con rapidez y claridad la forma en que se relacionan entre sí. Proporcionan una etapa intermedia, especialmente útil, entre el proceso de pensar y el hecho concreto de consignar las palabras por escrito. Pueden ayudar a salvar la distancia que a veces hay entre pensar y escribir.

3.2.2. Horarios y sesiones

Un elemento clave para la reflexión de los centros educativos debe ser el horario de inicio de las clases en la etapa de secundaria. En la adolescencia el cronotipo (o reloj interno) de nuestros jóvenes tiende a atrasarse, justo en el momento que es habitual adelantar su entrada en el centro educativo al pasar de la primaria a la secundaria. A grandes rasgos, existen dos perfiles de personas en relación a los horarios biológicos: las matutinas, que se levantan pronto y se acuestan temprano, y las vespertinas que es el caso contrario. Lo que sucede a los adolescentes, como parte de su proceso y cambios hormonales, es que tienden a convertirse en vespertinos. Como consecuencia su proceso de aprendizaje se ve perjudicado por el cansancio y la falta de sueño, que provoca una disminución en la capacidad de recordar los aprendizajes realizados. Desde el punto de vista educativo parece claro que es necesario retrasar la hora de inicio de la jornada escolar, pero se plantean diversas dificultades de tipo más social (conciliar horarios familiares, laborales, actividades extraescolares,...).

Como se comentó anteriormente, en el punto 2.2.4 al referirnos al sueño, existen suficientes estudios (Edwards, 2012; Carrell et al. 2011) como para plantear seriamente la necesidad de un cambio en los horarios escolares de los centros de secundaria.

Captar la atención de los alumnos es uno de los mayores retos de cualquier docente. La atención (o la falta de ella) es uno de los factores cruciales en las dificultades educativas actuales. Y están juego dos variables claves para entender la capacidad de atención de los alumnos: por un lado los límites biológicos sobre los ciclos de atención, y del otro la capacidad de sorprender y despertar la curiosidad por parte del docente.

La capacidad de atención está integrada por componentes de la percepción, motrices y motivacionales, distribuidos en diferentes regiones cerebrales. Los periodos de atención dependen de la edad y de la actividad a realizar. La capacidad del alumno para mantener la atención sostenida, se calcula que oscila entre los 10 a 20 minutos (Tokuhamma-Espinosa, 2011). El aspecto temporal y la planificación de las sesiones se convierten en un factor determinante de la capacidad de atención, y por consiguiente del aprendizaje. Es necesario estructurar las sesiones en bloques que no superen los 15 minutos, de manera que sea posible captar la atención de los alumnos. Parece necesario replantear la duración de las sesiones de clase. Si la atención disminuye con el paso del tiempo, habría que reducir la duración actual de la mayoría de clases de los 55 minutos o una hora actuales, hacía duraciones de 40-45 minutos, como sucede en otros países europeos como Alemania, Inglaterra, Dinamarca o Suecia (Mekler, 2000).

Las técnicas de visualización del cerebro han constatado que capta la atención aquello novedoso, aquello inesperado. La novedad produce que zonas de la neocorteza cerebral se bloqueen (disonancia cognitiva) al recibir estímulos diferentes a los esperados, estimulando nuestra curiosidad innata. La curiosidad activa circuitos cerebrales que permitan mantener la atención facilitando así el aprendizaje (Guillén, 2012). Es necesario replantear el inicio de las sesiones con los alumnos, donde habitualmente se aprovecha para corregir deberes, ya que los minutos iniciales son claves para despertar la curiosidad de los alumnos y conseguir su atención. El inicio de la sesión debería utilizarse para introducir los conceptos nuevos atrayendo la curiosidad de los alumnos.

3.2.3. Aprendizaje cooperativo

Las neuronas espejo tienen un papel destacado en la comprensión de las conductas de los demás i en el aprendizaje por imitación. Contribuyen a todos nuestros aprendizajes sociales. Las neuronas espejo enfatizan y justifican a nivel cerebral nuestra vivencia como seres sociales. Los aspectos sociales marcan el qué y cuándo aprender. El aprendizaje social y la imitación pueden generar, modificar y perfeccionar los circuitos neuronales que vinculan acción y percepción (Meltzoff et al., 2009) y están directamente implicados en el aprendizaje.

Los niños y niñas aprenden fácilmente a partir de la interacción social con otras personas. En ellos destacan habilidades sociales como la empatía y la imitación, poco comunes en otros animales. La imitación acelera el aprendizaje y multiplica las oportunidades de aprender. Se debe a que el aprendizaje por imitación es más rápido que si se da por descubrimiento individual, y más eficiente que el que se realiza por ensayo-error (Meltzoff et al., 2009).

El proceso de imitación no es una vulgar copia de lo que se observa, sino que sucede recreando los objetivos e intenciones de la persona imitada. Por ejemplo, en el caso de un adulto que intenta separar un objeto pero le resbala de las manos, hasta un bebé de 18 meses utiliza el patrón de intentos fallidos del adulto para encontrar una solución no mostrada hasta el momento. El niño busca una solución para el objetivo que el adulto intentaba conseguir, i no una copia de los intentos fallidos (Meltzoff et al., 2009).

El potencial de la imitación como herramienta de aprendizaje se basa en que de forma natural e inconsciente somos capaces de lograr un conocimiento o imitar una tarea. Y quien se ocupa de ello son las neuronas espejo, que en observar una tarea ya preparan al cerebro para imitarla. Esta reflexión hay que orientarla hacia la necesidad de reducir las explicaciones tradicionales (las clases magistrales), para centrarse más en actividades de observación y realización, donde los protagonistas sean los propios alumnos. Es en este contexto que el trabajo cooperativo destaca como una metodología necesaria a introducir en las dinámicas del aula.

La convergencia de los descubrimientos en psicología y neurociencias dan lugar a cambios en las teorías de la educación y el diseño de estrategias y espacios de aprendizaje. Y el papel social del aprendizaje es un aspecto crucial. El ser humano es un ser social, entre otras razones porque nuestro cerebro se desarrolla en contacto con otros cerebros. El descubrimiento de las neuronas espejo es imprescindible para entender que el aprendizaje requiere de los otros. En la generación de conocimiento i el aprendizaje, el elemento social y cooperativo resulta clave. Cuando se trabaja cooperativamente se libera más dopamina que facilita la transmisión de información entre el sistema límbico y el lóbulo frontal, favoreciendo la memoria a largo plazo y reduciendo la ansiedad (Rilling et al., 2002).

El aprendizaje cooperativo comporta beneficios sociales, psicológicos y académicos en las aulas. Su metodología favorece el clima en el aula, así como la aceptación y la gestión de la diversidad, tanto por el profesorado, como por el propio alumnado. En un estudio agregado con la participación de 17.000 jóvenes, entre 12 y 15 años, se estudió como los resultados académicos y las relaciones entre compañeros dependían del trabajo cooperativo que se realizaba en el aula, en contraposición a otras tipologías como el competitivo o el individualista (Roseth et al., 2008). La metodología del aprendizaje cooperativo se asocia con aumento de la actividad neuronal en las conexiones de la memoria.

El aprendizaje cooperativo es el concepto que engloba una serie de metodologías y procedimientos que consiste en promover el trabajo en grupos pequeños (de 2 a 4) y heterogéneos, donde los alumnos cooperan entre ellos para resolver y avanzar en cuestiones pedagógicas. Se pretende que aprendan cooperando y cooperen para aprender (Pujolàs, 2011).

Los hermanos Jonhson y Holubec definen cinco elementos necesarios para que pueda desarrollarse un verdadero aprendizaje cooperativo (Jonhson et al., 1999):

- *Interdependencia positiva:* Se produce cuando los miembros del grupo tienen la necesidad de trabajar juntos para realizar una tarea. Los miembros del grupo son conscientes que para conseguir sus objetivos necesitan que los demás miembros del grupo también lo consigan. El docente debe plantear una tarea clara y un objetivo grupal que implique al conjunto del grupo. Los esfuerzos de cada integrante del grupo benefician también a los demás integrantes. La interdependencia positiva es la base del aprendizaje cooperativo, sin ella no ha cooperación.
- *Interacción cara a cara:* se promueve la interacción entre los miembros de un equipo. Cada estudiante debe procurar realizar su tarea individual y promover el éxito de los demás, compartiendo con ellos recursos y ofreciendo el soporte y ayuda necesario.
- *Responsabilidad individual y grupal:* el grupo ha de ser responsable de conseguir sus objetivos y cada miembro del grupo ha de ser responsable contribuyendo, con su actitud y faena, a la consecución del éxito del grupo.
- *Habilidades y actitudes para el trabajo en grupo:* las habilidades sociales para el trabajo cooperativo que los estudiantes requieren son la toma de decisiones, el liderazgo, la comunicación, la confianza, la resolución de conflictos,... Este conjunto de habilidades sociales no se pueden dar por conocidas, sino que se deben enseñar a los estudiantes.
- *Evaluación del trabajo de equipo:* se promueve una evaluación grupal en lugar de una evaluación individual. Se evalúan las acciones y tareas de los miembros del grupo respecto a la tarea individual y a los objetivos grupales. Es importante revisar también las conductas y actitudes dentro del grupo. Con este tipo de evaluación se persigue premiar el trabajo del grupo y la cooperación y evitar la competitividad.

3.2.4. Aprendizaje basado en problemas (ABP)

Desde la neuroeducación es básico plantearse la motivación de los alumnos: conseguir despertar el interés inicial, mantener una implicación en el transcurso y realizar una evaluación del proceso útil. Motivación, aprendizaje significativo y protagonismo de los alumnos son tres aspectos clave, que la metodología del Aprendizaje basado en problemas (ABP, o PBL en su siglas en inglés) nos permite incorporar en el aula.

Barrows (1986) define al ABP como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”. En esta metodología los protagonistas del aprendizaje son los propios alumnos, que asumen la responsabilidad de ser parte activa en el proceso.

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una estrategia de enseñanza- aprendizaje que se inicia con un problema, al que un grupo de estudiantes deben buscarle solución. El problema debe plantear un conflicto cognitivo, debe ser retador, interesante y motivador para que el alumno se interese por buscar la solución (Morales y Landa, 2004). Este problema debe ser lo suficientemente complejo, de manera que requiera de la cooperación de los participantes del grupo para abordarlo eficientemente (Johari y Bradshaw, 2008).

El ABP se convierte en un desafío para el alumno. Jensen (2004) defiende que el cerebro enriquece su aprendizaje, cuando se le presentan retos en un entorno desafiante e interactuante, por ejemplo, la resolución de problemas. Esta estrategia, permite la generación de nuevas conexiones dendríticas y prepara a los hemisferios cerebrales para alcanzar abstracciones complejas.

Con el ABP se promueve un estilo de aprendizaje activo con énfasis en el proceso de enseñanza-aprendizaje, asignando un papel activo a los estudiantes y fomentando un aprendizaje colaborativo (Orts et al., 2012). Se fundamenta en la resolución de problemas, en la toma de decisiones, en el trabajo en equipo, en el desarrollo de habilidades de comunicación y en el desarrollo de actitudes y valores (De Miguel, 2005). Todos ellos elementos claves para la mejora del aprendizaje según la neuroeducación: atención, motivación, aprendizaje social i educación emocional. El desarrollo y la organización funcional del cerebro dependen y se benefician con modelos de aprendizaje bien estructurados como el ABP.

El ABP mejora la motivación de los estudiantes (Liu et al., 2009), pues este proceso facilita que los estudiantes se involucren más en el aprendizaje, posibilitando el interactuar con la realidad y observar los resultados de dicha interacción (Willard y Duffrin, 2003). El desarrollo de habilidades de pensamiento y el enfrentarse a problemas contribuye a potenciar en los estudiantes un pensamiento crítico y creativo. El ABP contribuye a que los estudiantes generen sus propias estrategias para la definición del problema, recolección de información, análisis de datos, construcción de hipótesis y evaluación de su aprendizaje (Thomas, 2000).

Por otra parte, permite la integración del conocimiento de diferentes disciplinas para dar solución al problema sobre el cual se está trabajando, de tal modo que el aprendizaje no se da sólo en fracciones, sino de una manera integral y dinámica. Asimismo, aprenden resolviendo o analizando problemas del mundo real y aplican los conocimientos adquiridos a lo largo de su vida en problemas reales.

Desde el área de tecnología el ABP es una gran oportunidad, incluso una obligación. Es un tipo de metodología intrínsecamente vinculada a los aprendizajes del currículum de tecnología, y que permite integrar los conocimientos relacionados con STEM⁴. No se puede separar la parte teórica de la parte práctica, o como sucede en muchas aulas, lo que se hace en el aula ordinaria respecto al taller. El ABP permite aunar teoría y práctica en un mismo proceso de aprendizaje y vincularlo a la resolución de un problema, siguiendo el esquema del proceso tecnológico.

3.2.5. Taller de tecnología

El taller de tecnología es en muchas ocasiones una gran oportunidad de aprendizaje perdida, o como mínimo minusvalorada. En ocasiones su única utilidad es repetir las dinámicas habituales del aula pero con un grupo menor de alumnos, restando valor a su enorme potencial educativo.

Hay que entender el taller de tecnología no únicamente como un espacio físico más del centro, un equipamiento más en la lista de aulas, laboratorios,... sino como un espacio educativo. Resulta el entorno adecuado para implementar metodologías propuestas hasta ahora como el aprendizaje cooperativo o el ABP. En el caso de tecnología, prácticamente cualquier planteamiento de ABP debería incorporar en la resolución del problema trabajo en el taller de tecnología. Y Sennett (2012) se refiere al taller como el icono de la cooperación constante.

Cerca del 45% de los estudiantes tienen mucha más facilidad por adquirir conocimiento explorando manualmente, y requieren de la manipulación directa y práctica para comprender los conceptos más abstractos (Bueno, 2015). El taller y las posibilidades que ofrece en cuando a manipulación y experimentación debe ser un elemento imprescindible en el aprendizaje.

⁴ Acrónimo inglés de science, technology, engineering y mathematics

La neuroeducación también nos plantea una oportunidad para la formación de nuestros alumnos: el trabajo manual estimula el lenguaje (Bueno, 2015). Se han identificado como algunas de las redes neuronales i algunos de los genes relacionados con la articulación del lenguaje (como el FOXP2) son utilizados simultáneamente tanto la generación del lenguaje como para la manipulación manual. Es decir, todas aquellas actividades manipulativas que se realizan en el taller, a la vez estimulan las áreas del lenguaje. Un estudio relacionó la capacidad manual fina con la producción de un lenguaje sintácticamente complejo (Aldo et al., 2010).

3.2.6. Gamificación

Platón decía que se podía conocer mucho de una persona compartiendo un rato de juego. Los mecanismos cerebrales permiten a los niños aprender a partir de los pocos meses de edad. Se libera dopamina, haciendo que el juego y la incerteza de este, provoque una recompensa cerebral y facilita la transmisión de información dentro de los mecanismos cerebrales. Seguramente porque, entre otras razones, el juego les genera emoción (cuando ganan, pierden, compiten, etc), o sorpresa (nuevos retos, misterios, roles, etc.). El juego es una forma natural de aprender del cerebro y el niño tiene un papel activo.

Resulta necesario introducir el juego dentro de la dinámica del aula para facilitar el aprendizaje. Mejora la creatividad, la autoestima, la socialización y ayuda a educar a los alumnos y a tomar decisiones. También hay que valorar el hecho de integrar un elemento lúdico dentro de la escuela resulta muy importante porque estimula la curiosidad y la motivación, que de forma inconsciente facilitan los aprendizajes. Los alumnos son capaces de aprender jugando. El aspecto crítico como docentes es poder integrar adecuadamente en el aula el componente lúdico de los juegos a la actividad diaria.

La combinación de aspectos ligados a la gamificación y el uso de nuevas tecnologías resulta una combinación que refuerza los aspectos sociales del aprendizaje y los circuitos neuronales de gratificación. Cada vez son más las herramientas (aplicaciones, realidad aumentada, etc.) que cubren este espacio pedagógico. Destaca Kahoot!⁵, una plataforma de aprendizaje mixto basado en el juego, que permite a los educadores y estudiantes investigar, crear, colaborar y compartir conocimientos. Tiene un alto componente social y puede jugarse online o a través de los teléfonos móviles, ya sea de manera individual o en grupo.

Un estudio realizado por la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) en 2013, demostró que el uso de una herramienta de aprendizaje basado en el juego como la mencionada Kahoot! tiene un efecto significativo en la mejora del aprendizaje de los alumnos.

3.2.7. Arte y creatividad

Diferentes estudios han constatado el papel de la educación artística en las aulas y han destacado los potentes efectos beneficiosos relacionados con el aprendizaje de los alumnos y su comportamiento (Rabkin et al., 2004). Desde la perspectiva neuroeducativa destaca la mejora en tres aspectos imprescindibles para mejorar el aprendizaje: la memoria, las emociones y la creatividad.

La tecnología, como asignatura más técnica, no puede estar contrapuesta a la educación artística, sino todo lo contrario. Hay que integrar, en la medida de lo posible, una sensibilización artística dentro del aprendizaje de la tecnología, analizando aquellos elementos del currículum (Currículum educació secundària obligatòria – Decret 143/2007 DOGC núm. 4915) donde resulta más fácil de trabajar. Destaca la aproximación desde el diseño que puede realizarse en 1º de ESO; el arte en arquitectura a partir del trabajo de estructuras en 3º de ESO; o el aspecto

⁵ <https://getkahoot.com/>

artístico-visual al trabajar al trabajar con las TIC de manera transversal (diseño de presentaciones, trabajos, páginas web, ...).

El desarrollo y trabajo de la creatividad en nuestros alumnos debe ser un aspecto importante en el aprendizaje de la tecnología, desarrollando prácticas pedagógicas que promuevan el pensamiento creativo. Por ello, en la medida de lo posible, hay que plantear a los alumnos proyectos abiertos, así como valorar explícitamente la creatividad y los componentes estéticos de los mismos.

3.3. Rol docente según la neuroeducación

Los mayores efectos sobre el aprendizaje del alumno se dan cuando los profesores se convierten en alumnos de su propia enseñanza y los alumnos se convierten en sus propios profesores.

John Hattie

“Todos los animales aprenden; muy pocos enseñan” (Blakemore y Frith, 2007). Nuestra especie es esencialmente educable, somos *Homo educabilis* (Battro, 2006). Por ello resulta imprescindible reflexionar sobre el rol del educador desde la perspectiva de la neurodidáctica.

La profesión docente afronta una transformación si se observa en perspectiva todo el conocimiento que se tiene ahora del cerebro respecto hace 20 años, y se plantea lo que se conocerá en los próximos años. El desafío para los educadores es afrontar en serio la investigación del cerebro y sus repercusiones (Caine y Caine, 1998). Eso significa cambiar el pensamiento y la práctica a base de lo que se conoce del aprendizaje compatible con el cerebro.

Los educadores deben reflexionar y trasladar el conocimiento neuroeducativo y la continua investigación a las aulas. Los profesores de aula necesitan algo de conocimiento del cerebro para poder interpretar los descubrimientos de la neurociencia, y para comunicar los resultados de las aulas a los neurocientíficos. Así como poder plantear a la neurociencia aquellas cuestiones de interés educativo sobre las que desarrollar la investigación. El profesor debe convertirse en un investigador en el aula que analiza los efectos de su enseñanza en el aprendizaje de los alumnos y, en caso de no darse el aprendizaje, es lo suficientemente flexible para utilizar nuevas estrategias pedagógicas. Porque lo que requiere el alumno en la mayoría de las ocasiones no es más de lo mismo sino un planteamiento diferente.

Según Guillén (2014), un buen profesor desde la neuroeducación:

- Conoce su materia i reflexiona sobre ella: es capaz de discernir lo importante de su materia, y así organizar las clases optimizando la atención de los alumnos.
- Inspira: transmite entusiasmo a sus alumnos. Es capaz de generar en el aula un clima emocional positivo y facilitar el aprendizaje por imitación.
- Da autonomía: fomenta la autonomía del alumno para que sea responsable y protagonista de su proceso de aprendizaje (Gerver, 2011). Sabe despertar la curiosidad inicial (con la novedad se activa el lóbulo frontal) para motivar al alumnado y facilitar la atención necesaria para el aprendizaje.

- Propone retos adecuados: utiliza los retos y desafíos para estimular a los alumnos. Conoce el papel que juega la memoria en la construcción de conocimientos, fomentando la construcción del aprendizaje.
- Fomenta la creatividad: enseñando estrategias que permitan un pensamiento creativo. Cede el protagonismo del proceso de aprendizaje al alumno, acompañándolo y suscitando las cuestiones adecuadas.
- Acepta el error: porque lo entiende como parte del proceso de aprendizaje, y porque valora más el proceso que exclusivamente el resultado final. El cerebro, que tiende a justificar creencias previas (disonancia cognitiva) requiere del error para progresar.
- Tiene vocación: disfruta de su profesión, y su actitud se refleja en el clima emocional del aula. Reflexiona sobre las prácticas educativas, y hace un esfuerzo por formarse e innovar. Es consciente que el profesor es el instrumento didáctico más importante (Spitzer, 2005).
- Y sobre todo, mira con afecto a sus alumnos: reconoce en ellos, gracias a la plasticidad cerebral, la capacidad de aprender y progresar. Sabe elogiar a sus alumnos cuando es necesario, activando así el sistema de recompensas cerebral asociado a la liberación de dopamina. Es consciente que la educación es más que la transmisión de contenidos académicos, y por ello cuida los aspectos emocionales en el aula.

Como afirma Mora sobre los profesores “Ellos son capaces de transformar el cerebro de los alumnos, tanto física como químicamente, de la misma manera que un escultor con su cincel es capaz de crear una figura tan bella como el David” (Mora, 2013).

En el proceso de aprendizaje, los valores, las ideas y la actitud del docente ante el aprendizaje pueden ser tan importantes como los contenidos académicos que está enseñando (Blakemore y Frith, 2007). Un estudio que analizaba las posturas de los estudiantes y los docentes en horas de clase, demostró que como mayor era la afinidad entre el profesor y los alumnos, mayor era la imitación inconsciente de la postura del docente (Iacoboni, 2009). Las neuronas espejo así lo corroboran, ya que permiten al cerebro estar preparado para imitar. La neuroeducación plantea la necesidad que los profesores tengan un rol educativo, un papel de testimonio delante el grupo de alumnos, más allá de transmitir unos contenidos académicos.

Hasta el momento, toda la reflexión se basa en el conocimiento del cerebro que aprende. Al plantear el rol del docente desde la neuroeducación es importante destacar el vacío respecto al funcionamiento del cerebro que enseña. De hecho no hay por el momento imágenes funcionales del cerebro que enseña y esta carencia es un signo de la asimetría de las investigaciones actuales (Battro, 2010).

Finalmente, es importante en el presente punto tratar la formación de los docentes, en especial de los nuevos docentes. Estos deben recibir una formación que les permita reflexionar sobre una educación en armonía con el funcionamiento del cerebro y su estructura, es decir una enseñanza y aprendizaje compatible con el cerebro. Es posible y necesario integrar información acerca del cerebro dentro de los programas de desarrollo inicial, programas de formación de profesorado y programas de desarrollo profesional.

4. Resultados

Las aplicaciones de la neurociencia cognitiva en la educación no son un 'puente demasiado lejano'. Por el contrario, disponemos ya de muchas evidencias empíricas que nos permiten introducir programas educativos innovadores y de las herramientas para estudiar el impacto en el cerebro y la mente de los niños. El aula debe ser nuestro próximo laboratorio.

Stanislas Dehaene

Lo importante es analizar científicamente el aula y poder así mejorar la docencia. Cuando los profesores nos convertimos en auténticos investigadores de nuestras propias prácticas en el aula no solo mejora la enseñanza sino también (que es lo más importante) el aprendizaje. En este apartado se presentan dos estudios realizados que parten de dos elementos neuroeducativos, expuestos sucintamente en el apartado anterior:

- En el primer estudio se analiza la influencia del sueño y el horario de las sesiones (Mora, 2013).
- En el segundo estudio se compara la efectividad de la metodología de los mapas mentales, frente a la explicación oral tradicional, ya que la neurociencia pone de manifiesto la especial preparación de nuestro cerebro para trabajar con imágenes (áreas visuales) respecto a otros canales sensoriales como el auditivo (Ramírez et al., 2005).

Para realizar los dos estudios planteados, dada la disponibilidad de estudiantes en el periodo de prácticas del máster, los participantes fueron alumnos de 1º de ESO de un instituto de la provincia de Barcelona. Todos los cálculos y test estadísticos que forman parte del estudio se han realizado con el programa XLSTAT 2015⁶.

4.1. Estudio sobre horario de sesiones

Introducción

El objetivo del estudio consiste en comprobar si el horario de inicio de las clases es un factor que puede influir en los resultados académicos de los alumnos (Carrell et al., 2011; Edwards, 2012). La neuroeducación plantea como en la adolescencia los ritmos de sueño cambian, y es un época en que el cerebro retrasa la hora de ir a dormir y la de despertarse (Jensen y Snider, 2013).

Método

a) Participantes

Los participantes en el estudio fueron jóvenes de 1º de ESO de un instituto de la provincia de Barcelona. Un total de 77 estudiantes distribuidos en 3 líneas (1º A, 1º B y 1º C), de los cuales 44 eran chicos (57,15%) y 33 chicas (42,85%).

⁶ XLSTAT Statistical Software for Excel

b) Diseño

El objetivo del estudio era comprobar si el retraso en el inicio de clases afecta a los resultados académicos de los alumnos. Como por razones organizativas no era posible que un grupo empezara las clases a las 9h, se optó por comparar los resultados entre los alumnos que realizaban la clase de tecnología de 8h a 9h, y los alumnos que la realizaban de 9h a 10h.

El desarrollo se llevó a cabo durante 6 sesiones con una prueba parcial y una final para estudiar los resultados académicos del alumnado (sesión 3 i sesión 6). Durante las sesiones en el aula de informática de desarrolló el temario de procesador de textos. En las sesiones se introducía un tema, que cada alumno trabajaba autónomamente siguiendo una práctica que debía entregar en el Moodle.

La distribución de los grupos es heterogénea. Cada grupo (1º A, 1º B y 1ºC) está dividido por orden alfabético en dos subgrupos (A1 y A2; B1 y B2; C1 y C2). Los grupos 1 realizaban la clase de tecnología de 8 a 9, mientras que los grupos 2 de 9 a 10.

c) Instrumentos de evaluación

Se prepararon dos actividades que los alumnos debían resolver autónomamente y sin ayudas ni por parte del profesor ni de otros compañeros (Anexo 1 y 2). En la primera actividad (Actividad parcial) se valoraba el contenido de las prácticas 1 y 2 y tenía una duración de 30 minutos. Al finalizar la sesión debían entregarla mediante el aula Moodle. La segunda actividad (Actividad final) recogía todo el contenido sobre procesador de textos y tenía una duración de una hora.

d) Programa de intervención

En la tabla 1 se puede observar la programación de las sesiones para la realización del estudio 1. En un total de seis sesiones de clase (6 horas), se realizó con el alumnado un total de cinco prácticas, y dos actividades de evaluación para el presente estudio: Actividad de síntesis y Actividad final.

SESIÓN	CONTENIDO
Sesión 1	Práctica 1
Sesión 2	Práctica 2
Sesión 3	Práctica 3 (30 minutos) y Actividad Parcial
Sesión 4	Práctica 4
Sesión 5	Práctica 5
Sesión 6	Actividad Final

Tabla 1. Programación del contenido de las seis sesiones del estudio.

e) **Análisis de datos**

Los resultados obtenidos por el alumnado se pueden consultar en el Anexo 3. Las medias de los resultados se pueden observar en la siguientes figuras, donde tenemos la comparativa de cada clase (1º A, 1º B y 1º C) según si forman parte del grupo 1 (clase de 8 a 9) o grupo 2 (clase de 9 a 10). Para la prueba parcial (figura 6) y la prueba final (figura 7):

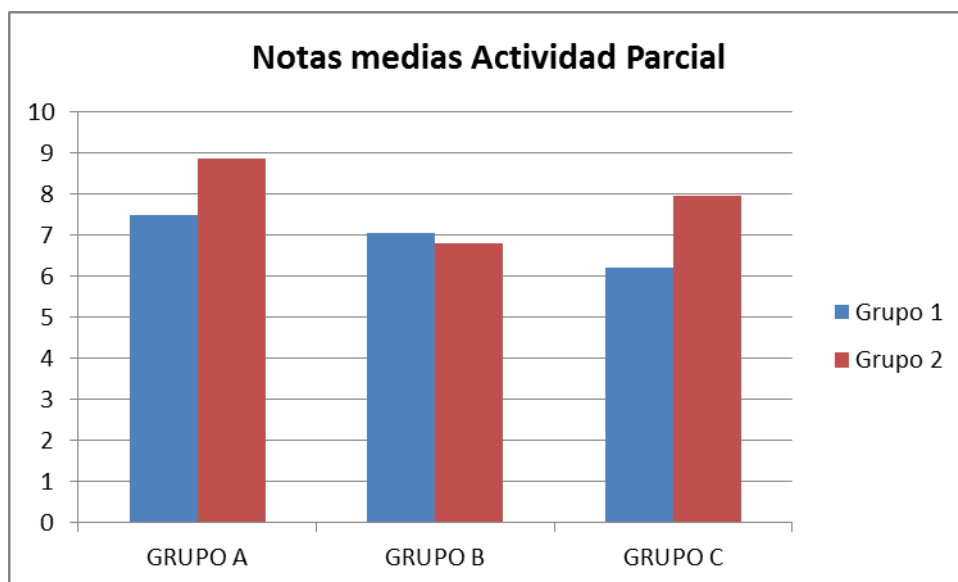


Figura 6. Notas medias Actividad Parcial

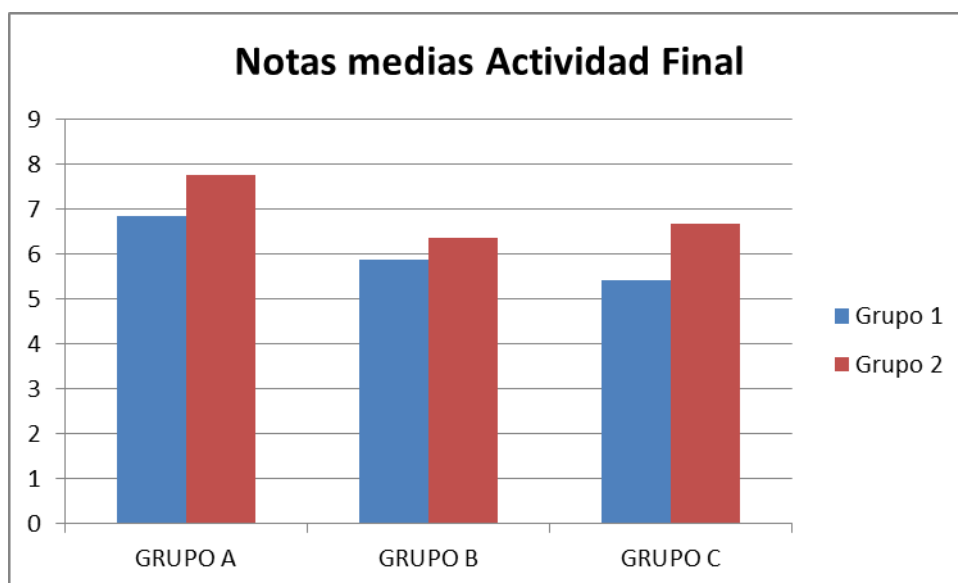


Figura 7. Notas medias Actividad Final

De las figuras anteriores destaca como las notas medias son siempre mejores en los grupos 2 (clase de 9h a 10h), excepto en la actividad parcial para 1º ESO B, donde son ligeramente superiores los resultados del grupo 1. En los resultados de la actividad final, se puede observar como para 1º B las diferencias entre grupo 1 y grupo 2 también son las menores. El grupo de 1º ESO B es el más disperso de los tres y con mayores problemas de atención, actitud y rendimiento académico. Puede ser que sea un factor que influya respecto a los otros grupos.

Al estudiar el conjunto de los resultados de los alumnos, solo haciendo la distinción por la variable hora de la sesión, nos encontramos con los siguientes resultados, en cuanto a notas medias de los alumnos (figura 8):

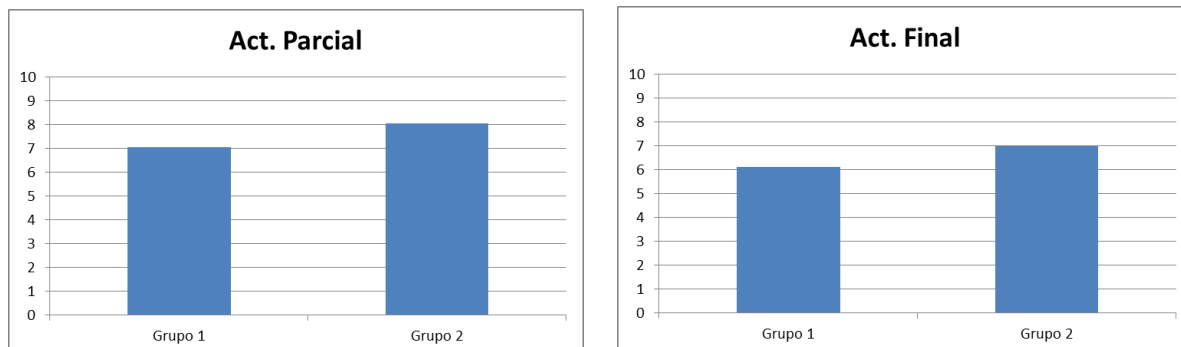


Figura 8. Notas medias Actividad Parcial y Final según variable hora sesión.

Se puede observar en la figura anterior, que tanto en la Actividad Parcial como en la Actividad Final, los resultados académicos son superiores para el grupo 2 (sesión de 9h a 10h).

Los estadísticos descriptivos para la Actividad parcial:

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
GRUPO 1	32	3,500	10,000	7,070	1,898
GRUPO 2	30	5,000	10,000	8,042	1,756

Los estadísticos descriptivos para la Actividad final:

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
GRUPO 1	37	3,500	9,500	6,108	1,856
GRUPO 2	37	3,500	9,500	6,986	1,648

Donde observamos, al igual que en los gráficos, unas medias superiores en los grupos 2, con unas desviaciones parecidas.

El objetivo del estudio es comprobar si la diferencia horaria influye en los resultados académicos de los alumnos. Para ello realizaremos un test T-Student para los datos de la Actividad Parcial, y para los datos de la Actividad Final. Con ello se comprobará si se puede rechazar, o no, la hipótesis H_0 , donde H_0 implica que no hay diferencias significativas que expliquen las muestras, y por tanto las diferencias en los resultados de los alumnos no se deben al cambio horario (Galindo, 2013).

T-Student para Actividad Parcial:

Diferencia	-0,971
t (Valor observado)	-2,088
t (Valor crítico)	2,000
GL	60

valor-p (bilateral)	0,041
alfa	0,05

El p-valor es menor que el valor alfa 0,05, y por tanto se debe rechazar la hipótesis nula H0.

T-Student para la Actividad Final:

Diferencia	-0,878
t (Valor observado)	-2,152
t (Valor crítico)	1,993
GL	72
valor-p (bilateral)	0,035
alfa	0,05

El p-valor es menor que el valor alfa 0,05, y por tanto se debe rechazar la hipótesis nula H0.

Resultados

En ambos casos, Actividad parcial y Actividad final, los resultados son significativos, y se puede afirmar que la diferencia horaria de las sesiones influye en los resultados de los alumnos. Entre la Actividad parcial y la final, el p-valor disminuye, y por tanto en la Actividad final se observa una mayor relación de los resultados respecto al horario. Se podría apuntar a la hipótesis que a lo largo de las sesiones incrementa el efecto del horario.

Ante estos resultados hay que tener presente que el objeto inicial de estudio era comprobar si el retraso en el inicio de la jornada escolar, afecta positivamente en los resultados de los alumnos, al adaptar la jornada escolar a los ritmos de sueño de los adolescentes. En el estudio se ha podido comprobar que a igualdad de temario, metodología y prueba, los resultados de los alumnos que realizaban tecnología de 9 a 10 son mejores que los grupos de alumnos de 8 a 9, y viendo los test estadísticos se puede afirmar que la diferencia horaria explica la mejora de los resultados.

Posibles acciones de mejora pasan por seguir con la investigación:

- Poder comparar resultados entre un grupo de alumnos que empiecen la jornada escolar a las 8, y un grupo que empiecen a las 9. Así realmente veríamos el efecto sobre el ciclo de sueño y las horas de descanso.
- Ampliar el estudio durante más sesiones, ya que parece ser que el efecto a largo plazo pueda influir.
- Realizar el estudio a un grupo de alumnos mayores (3º o 4º ESO), para ver las diferencias respecto a los alumnos estudiados. Si el factor de estudio está relacionado con la adolescencia y el retraso en el ciclo de sueño, la variación entre los 12 y 15 años puede ser significativa.
- Incorporar como variable que puede afectar a los resultados si los alumnos habían desayunado correctamente o no. El desayuno puede afectar a los resultados académicos de los alumnos (Ibarrola, 2013). Y como las sesiones de 8h a 9h y de 9h a 10h son las previas a la parada para desayunar, puede ser un aspecto importante a valorar su efecto en los resultados.

4.2. Aplicación mapa mental

Introducción

El objetivo del estudio es comparar la efectividad de una metodología didáctica como son los mapas mentales, en relación a la explicación tradicional. Se pretende estudiar si la metodología utilizada para realizar la explicación influye en la comprensión por parte de los alumnos.

Según las aportaciones de la neuroeducación, como se ha visto anteriormente, el cerebro está potencialmente preparado para trabajar con imágenes y relacionarlas, de forma que las áreas neuronales visuales son mayores que las dedicadas al lenguaje (Ramírez et al., 2005) y, por tanto, como hipótesis de partida la comprensión debería ser mayor que en la explicación oral tradicional (Bueno, 2015), aunque también nuestro cerebro está muy adaptado al aprendizaje verbal (Forés y Ligoiz, 2009).

Método

a) Participantes

Los participantes en el estudio fueron jóvenes de 1º de ESO de un instituto de la provincia de Barcelona. Un total de 28 alumnos correspondientes a 1º ESO A, de los cuales 15 eran chicos (53,57%) y 13 eran chicas (46,43).

b) Diseño

Se dividió el grupo en dos subgrupos heterogéneos por criterio de orden alfabético de apellido: grupo 1 y grupo 2.

En los dos grupos se hizo una explicación sobre redes informáticas, dentro del temario previsto en centro para 1º de ESO. Era la primera sesión sobre el tema que se realizaba con los alumnos, así que no disponían de conocimientos previos, como mínimo realizados en clase. Al grupo 1 se realizó utilizando la metodología del mapa mental (Anexo 4). Y al grupo 2 se realizó la misma explicación, pero mediante explicación oral, leyendo un texto explicativo (Anexo 5). Tanto el mapa mental como la explicación contenían la misma información, ya que el mapa mental estaba elaborado a partir de la explicación que se utilizó con el grupo 2. En ninguno de los dos grupos se permitió al finalizar la explicación aclarar dudas o ampliar contenido.

c) Instrumentos de evaluación

Se utilizó una prueba tipo test para comprobar la comprensión sobre la explicación realizada (Anexo 6). A los dos grupos se pasó el mismo test una vez finalizada la explicación. Se puntuaron de 1 a 10, otorgando un punto a cada respuesta correcta y 0 a las respuestas incorrectas o sin contestar.

d) Análisis de datos

Los resultados obtenidos por el alumnado se pueden consultar en el Anexo 7. Las medias y las desviaciones se pueden observar en la figura 9:

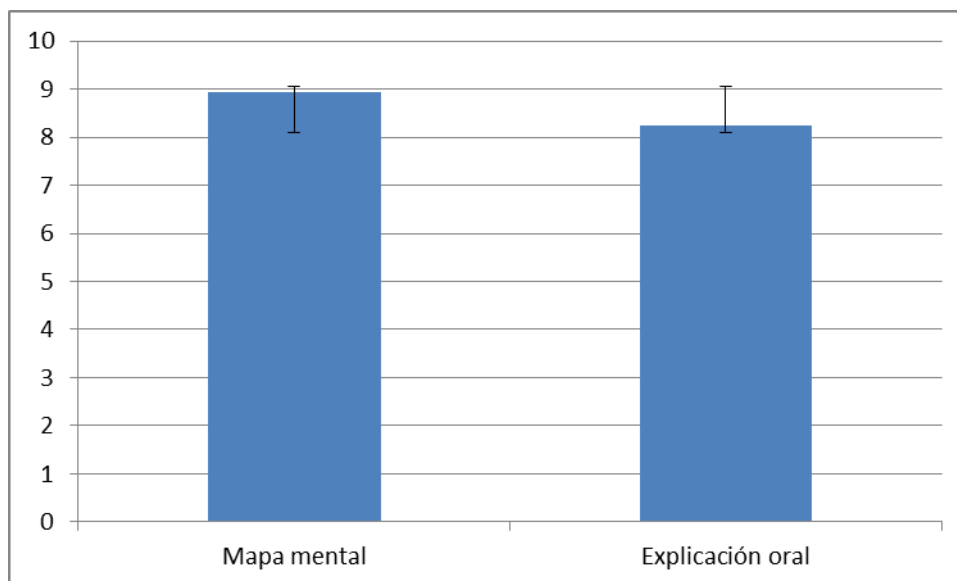


Figura 9. Notas medias del test según metodología utilizada.

En la anterior figura se puede observar como la media de las notas del grupo del mapa mental es ligeramente superior. Los estadísticos descriptivos para la muestra son:

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Mapa mental	13	8,000	10,000	8,923	0,641
Explicación oral	13	6,000	9,000	8,231	1,013

Como el tamaño de la muestra es muy pequeño, se ha utilizado un test no paramétrico U de Mann-Whitney. El objetivo es comprobar si se puede rechazar, o no, la hipótesis H_0 . La hipótesis H_0 implica que no hay diferencias significativas que expliquen las muestras, y por tanto las diferencias no se deben a la diferente intervención realizada (Galindo, 2013).

Prueba de Mann-Whitney:

U	115,500
Valore esperado	84,500
Varianza (U)	302,640
valor-p (bilateral)	0,080
alfa	0,05

Resultados

Al realizar la prueba de Mann-Whitney obtenemos un p-valor de 0,08, superior al nivel de error de 0,05. Por tanto, con un nivel de confianza del 95%, se puede afirmar que no hay diferencias significativas, y por tanto, a partir de estos resultados, no podemos afirmar que exista diferencia entre las dos metodologías usadas y la comprensión de la explicación.

Las notas de los dos grupos son altas. En el caso del grupo que trabajó con el mapa mental se mueven entre el 8 y el 10 todos los alumnos. En el caso del grupo de la explicación oral hay más dispersión de notas, pero, así y todo, la media es superior al 8. La media del mapa mental es ligeramente superior, con una desviación menor y con un rango de valores entre el 8 i el 10.

En cambio, en el caso de la explicación oral no encontramos ningún resultado de 10, y los valores se mueven entre el 6 al 9, obteniendo una media menor y una desviación mayor. Según el test U de Mann-Whitney realizado no se puede afirmar que exista diferencia según la metodología usada, pero sí que podemos destacar una cierta tendencia de mejora en el caso del mapa mental, estimando las medias y las desviaciones.

Un factor importante en los resultados, que puede ser significativo al realizar el test y no poder afirmar la existencia de relación entre la metodología y los resultados, sea el tamaño menor de la muestra. Otro aspecto a valorar en los resultados fue la realización del test inmediatamente después de realizar las explicaciones, ya fuera a través del mapa mental o con la explicación oral. Al realizar el test tan cerca temporalmente de la explicación, puede enmascarar unos resultados, que con el paso de tiempo se verían modificados por la comprensión y memoria de los alumnos frente a las explicaciones.

Posibles acciones de mejora para seguir con la investigación:

- Ampliar la muestra con alumnado de 1º ESO B i 1º ESO C.
 - Espaciar temporalmente la explicación respecto al test. Estudiar la posibilidad de realizar la explicación en la sesión 1 y el test en la sesión 2.
 - Valorar la conveniencia y posibilidad de realizar las explicaciones de todo un tema en un grupo con mapas mentales y en otro con explicación oral. Así poder valorar en efecto de la metodología no solo en una intervención puntual, sino su efecto en toda una acción educativa.
-

4.3. Conclusiones parciales

La neurociencia nos describe como el sueño es un elemento imprescindible para el aprendizaje y la adquisición de contenido (Mora, 2013). El objetivo del presente estudio era comprobar si la hora de inicio de las clases era un factor crítico en los resultados académicos (Carrell et al., 2011; Edwards, 2012). Los resultados obtenidos por dicho estudio son alentadores ante esta propuesta, ya que establecen una relación significativa entre los resultados a las dos pruebas en función de si la clase era de 8h a 9h o de 9h a 10h. Los grupos de 9h a 10h obtienen unos mejores resultados, que incrementan con el paso de las sesiones, y por tanto podemos deducir que el factor horario no es puntual, sino que tiene una significación a lo largo del tiempo.

Recuperando las propuestas realizadas en el punto 3.2.2, y a la vista de los resultados, es necesario plantear una alternativa al actual horario, más o menos general, de la educación secundaria. Hay que explorar otras posibilidades, como el retraso de la hora de inicio de la jornada escolar, y estudiar los efectos de estos cambios en los resultados académicos de los alumnos.

Así mismo, comparar la efectividad de las metodologías usadas, resulta imprescindible para asegurar que las innovaciones que se aplican en el aula provoquen una mejora significativa en el aprendizaje de los alumnos. El planteamiento neuroeducativo sobre los canales sensoriales que facilitan el aprendizaje favorece el aspecto visual (Bueno, 2015) al activar una mayor región cerebral que mediante otros canales sensoriales como el auditivo (Ramírez et al., 2005). Aquí el resultado del estudio no refuerza estos postulados neurodidácticos. La diferencia de la metodología utilizada no muestra una mejora significativa de los aprendizajes.

Es necesario un replanteamiento del estudio antes de dar por cerradas las conclusiones. Así como valorar, que pese a la buena preparación evolutiva que posee el cerebro para trabajar mediante imágenes, los alumnos que tenemos en las aulas, con muchos años ya en el sistema escolar a sus espaldas, se han habituado al aprendizaje verbal, cuyas áreas neuronales especializadas también son importantes. Sería necesario un trabajo futuro en más profundidad, con medios de los que no se disponía para la realización del presente estudio, comparando por

ejemplo mediante técnicas de neuroimagen, el volumen de circuitería neuronal involucrada en el aprendizaje verbal respecto al aprendizaje visual, y valorando a la vez los resultados académicos obtenidos y sus correlaciones.

5. Conclusiones

Hasta ahora parece que la neuroeducación está trayendo más preguntas que respuestas. Hay quien consideraría tal realidad como una decepción, al entender que la neuroeducación nos debería brindar “la respuesta” sobre cómo plantear una educación mejor. Pero más importante que las respuestas, es plantear correctamente las preguntas. Y en este sentido, la neuroeducación está situando en el debate cuestiones importantes sobre cómo se produce realmente el aprendizaje, y cuáles son los factores importantes que influyen y cómo.

Como nueva ciencia que es, y sobre el nuevo paradigma que propone, no está libre de críticas. La posible simplificación que en algunos aspectos se han desarrollado, los neuromitos y la urgencia por aplicar en el aula concreciones no están ayudando a tomar la perspectiva necesaria y esperar que la neuroeducación, con todo su estudio científico detrás, se asiente como un elemento imprescindible en la reflexión pedagógica. Será crucial en los años venideros el papel de educadores, conscientes y conocedores de la neuroeducación que ayuden por un lado a la neurociencia a plantear las cuestiones importantes sobre las que investigar, a la vez que ayudan a aplicar en los centros los avances y conclusiones que se puedan obtener de la neuroeducación. En constante debate con otras ciencias como la pedagogía, la psicología y la sociología, y en un trabajo multidisciplinar con expertos de estas diferentes especialidades. Siempre con la mirada puesta en la mejora del aprendizaje y ajustando el enfoque en nuestros alumnos.

Del presente trabajo, me quedo, como futuro docente, con una idea clave: la necesidad de llevar la investigación dentro del aula. Ya no es suficiente introducir cambios y simplemente observar cómo afectan a los alumnos. La reflexión pedagógica no puede limitarse a la observación, sino que es imprescindible una auténtica investigación educativa dentro del aula, y analizar los efectos de los cambios que introducimos.

Toda la parte del trabajo final del máster sobre el estudio me ha ayudado a ser muy consciente de esta realidad. He podido *experimentar* a partir de premisas planteadas por la neuroeducación, y estudiar si estos cambios eran realmente significantes en los resultados académicos de los alumnos. Es decir, si mejoraban nuestra tarea docente.

He podido contrastar algunas de las propuestas neuroeducativas con los resultados obtenidos en el aula. El primer estudio realizado ha confirmado la hipótesis que la hora de inicio de la jornada escolar es un elemento crítico en la mejora de los resultados académicos. A partir de la comparación entre grupos que realizan las clases de tecnología de 8h a 9h y de 9h a 10h, se ha demostrado como los resultados son significativamente mejores en el grupo de 9h a 10h. Reflexión que lleva a plantear la necesidad de atrasar el inicio de la jornada escolar, como otros estudios ya plantean (Carrell et al., 2011; Edwards, 2012).

En el caso del segundo estudio planteado, los resultados no confirman una mejora según la metodología utilizada. Son muchos los aspectos a revisar y replantear, tanto de la premisa de estudio, como del diseño del estudio. En este caso me quedo con la idea sobre la necesidad de evaluar el impacto de los cambios metodológicos que introducimos en las aulas. Todo cambio no supone una innovación educativa per se, ya que de alguna manera debe mejorar el proceso de aprendizaje (Carriña et al., 2003) o como mínimo evitar o reducir el fracaso escolar (Escudero, 2005).

Puede que, para algunos, los elementos de este nuevo paradigma educativo no supongan en la mayoría de cuestiones una novedad. La novedad radica en el enfoque. La neuroeducación permite hacer una aproximación y razonar científicamente, elementos que hasta el momento era más intuiciones u observaciones de los propios docentes en la realidad de su aula.

Queda mucho camino por recorrer, y probablemente con muchas dificultades a sortear. Pero hay que tener siempre clara la premisa: necesitamos saber cómo se aprende. Mejorar la educación implica mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Lo cual implica en última instancia conocer el órgano responsable del aprendizaje y los complejos mecanismos que en él operan.

Finalmente no puedo obviar una referencia a dos elementos que considero clave en este cambio educativo: la tecnología y las artes. Las disciplinas que fomentan la creatividad, que conectan como hemos visto con muchos de los aspectos que plantea la neuroeducación. Y dos disciplinas que las recientes reformas educativas van arrinconando y minusvalorando. Reformas que, en este aspecto y en muchos otros, se alejan del cambio educativo necesario y que se ha intentado recoger en el presente trabajo.

Agradecimientos

Quiero agradecer y tener presentes a todas las personas con las que he recorrido este largo camino del máster. Gracias a mis compañeros y a los docentes por el trabajo realizado entre todos, el intercambio de opiniones, la reflexión compartida y tantos aprendizajes. Gracias porque entre todos habéis conseguido exprimir mis neuronas.

En segundo lugar, agradecer el buen hacer de mi tutor, Toni Hernández. Gracias por acompañarme en el viaje del TFM; por tus aportaciones, sugerencias, correcciones y animarme a ir un paso más allá. El origen de este trabajo está en tus clases de *Innovació i recerca educativa*.

Y finalmente gracias al centro donde he podido desarrollar mi prácticum y a mi tutora de prácticas. Sin ellos la parte del estudio no hubiera sido posible, Gracias por la confianza y disponibilidad mostrada en todo momento.

BIBLIOGRAFIA

Aldo F. et al. (2010). The Manipulative Complexity of Lower Paleolithic Stone Toolmaking. *PLoS ONE*, 2010; 5 (11): e13718

Arriaga, J. P. et al. (2006). Análisis conceptual del aprendizaje observacional y la imitación a conceptual. *Revista latinoamericana de psicología*, 38 (1), 87-102.

Ausubel, D. P., & Novak, J. H. H. (1976). Significado y aprendizaje significativo. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, 53-106.

Bañeres, D. et al. (2008). El juego como estrategia didáctica. *Graó*.

Bao, S.; Chan, V.T.; Merzenich M.M. (2001). Cortical remodeling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature* 412.

Barrows H. (1986) A Taxonomy of problembased learning methods. *Medical Education*, 20: 481-486.

Battro, A.M. (2010). The teaching brain. *Mind Brain and Education*. Vol.4.

Béjar, M. (2014). Neuroeducación. *Revista padres y madres*. Número 355. Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.

Bisquerra, R. et al. (2012). Com educar les emocions? La intel·ligència emocional en la infància i l'adolescència. *Esplugues de Llobregat (Barcelona): Hospital Sant Joan de Déu*.

Blakemore, S.; Frith, U. (2011). Cómo aprende el cerebro, las claves para la educación, Ariel.

Blood, A. J. y Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818-11823.

Bodden C. et al. (2015). Benefits of adversity?! How life history affects the behavioral profile of mice varying in serotonin transporter genotype. *Front. Behav. Neurosci.* 9:47.

Caine, R. et al. (1998). How to think about brain. A set of guiding principles for moving cautiously when applying brain research to the classroom. *The School administrator Web Edition*

Calle, M. G.; Velásquez, B. M. (2012). Factores y estrategias pedagógicas basadas en las teorías neurocientíficas que potencian el desarrollo humano. *Gestión Social para el desarrollo humano*. ICETEX – Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

Campos, A. (2010). Neurociencia: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. *La Educación, revista digital*, n.143.

Cardinali, D. P. (2007). *Neurociencia aplicada: sus fundamentos*. Ed. Médica Panamericana.

Cardinali, D.P. (2008). Chronoeducation: How the biological clock influences the learning process. In A.M. Battro, K.W. Fischer and P.J. Léna (Eds.). *The Educated Brain*. Cambridge: Cambridge University Press

Carmiña, C. et al. (2013). Mitos y realidades de la innovación educativa. In *XI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, Vilanova i la Geltrú*.

Carrel S. et al. (2011). A's from Zzzz's? The causal effect of school start time on the academic achievement of adolescents. *American Economic Journal: Economic Policy*, 3.

Casey, B. J. y Jones, R. M. (2010). Neurobiology of the adolescent brain and behavior: implications for substance use disorders. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(12), 1189-1201.

Clouder C. et al. (2008). *Informe Fundación Botín: Educación emocional y social. Análisis internacional*. Santander, Fundación Marcelino Botín. Ediciones 2008, 2011, 2013 y 2015.

Codina, M. J. (2014). Neuroeducación: reflexiones sobre neurociencia, filosofía y educación. Postconveniconales, Escuela de estudios políticos y administrativos.

Curto, J. M. D. (2003). El proyecto modular de Jerry Fodor (o sobre el porvenir de otra ilusión). *Anuario de psicología/The UB Journal of psychology*, 34(4), 564-573.

Damasio, A. (2006). El error de Descartes. Crítica.

Davidson R. J. y Begley, S. (2012). El perfil emocional de tu cerebro. Ediciones Destino.

De la Barrera, M.; Donolo, D. (2009). Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje. *Revista Digital Universitaria*.

De Miguel, M. (2005). Metodologías de enseñanza para el desarrollo de competencias. Orientaciones para el profesorado universitario ante el Espacio Europeo de Educación Superior. Madrid: Alianza.

Dehaene, S. et al. (1999): "Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence". *Science*, 284.

Doidge N. (2008). El cerebro se cambia a sí mismo. Madrid, Aguilar.

Edwards, F. (2012). Early to rise? The effect of daily start times on academic performance. *Economics of Education Review*, 31.

Erk, S. et al. (2003). Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage*, 18.

Escudero, J. M. (2011). Fracaso escolar, exclusión educativa: ¿De qué se excluye y cómo?. Universidad de Granada, Vol. 9,1 (2005)

Feinstein, S. G. (2009). *Secrets of the teenage brain: Research-based strategies for reaching and teaching today's adolescents*. Corwin Press.

Fernández, R. (2012). La neurona: unidad básica del aprendizaje. *Cerebrando el aprendizaje* (33-38). Buenos Aires, Argentina: Bonum.

Fodor, J. A. (1986). *La modularidad de la mente: un ensayo sobre la psicología de las facultades*. Ediciones Morata.

Forés, A. y Ligoiz, M. (2009). Descubrir la neurodidáctica: aprender desde, en y para la vida. Editorial UOC.

Gairín J. y Fernández, J. (2010). Enseñar matemáticas con recursos de ajedrez. *Tendencias pedagógicas*, Nº 15, págs. 59-90.

García, E. G. y Barnett, J. A. (2005). La teoría de las inteligencias múltiples en la práctica educativa: aplicación a la enseñanza-aprendizaje de inglés como segunda lengua. *Iberpsicología: Revista Electrónica de la Federación española de Asociaciones de Psicología*, 10(7), 6.

Gardner, H. (1998). *Inteligencias múltiples*. Paidós.

Geake, J. (2011): Position Statement on Motivations, methodologies, and Practical Implications of Educational Neuroscience Research: fMRI studies of the neural correlates of creative intelligence. en PATTEN, K.E. Y CAMPBELL, S.R. Educational Neuroscience. Wiley.Blacwell, Chichester UK.

Goleman, D. (2012). *Inteligencia emocional*. Editorial Kairós.

Gómez-Fernández, L. (2000). Plasticidad cortical y restauración de funciones neurológicas: una actualización sobre el tema. *Rev Neurol*, 31(8), 749-756.

Grah, G. y Kumar, A. (2015). Historia del cerebro en metáforas. *Mente y cerebro*, Nº. 71, 2015, págs. 86-90

Hart, L. A. (1983). *Human brain and human learning* (Vol. 82283795). New York: Longman.

Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-anayses relating to achievement*. Routledge.

Iacoboni, M. (2009). *Las neuronas espejo: empatía, neuropolítica, autismo, imitación o de cómo entendemos a los otros*. Katz.

Ibarrola B. (2013) *Aprendizaje emocionante. Neurociencia para el aula. Biblioteca de innovación educativa*. Ediciones SM.

Iriarte, J. y Artieda, J. (2013) *Manual de Neurofisiología Clínica*. Editorial médica Panamericana.

Jensen, E. (2004): *Cerebro y aprendizaje: competencias e implicaciones educativas*. Narcea Ediciones.

Jensen, E., y Snider, C. (2013). *Turnaround tools for the teenage brain*. San Francisco, CA: Josey-Bass.

Jonhson D. et al. (1999) *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Editorial Paidós

Joseph-Bravo, P., & De Gortari, P. (2007). El estrés y sus efectos en el metabolismo y el aprendizaje. *Biotechnología*, 14(3), 65-76.

Junqué C. i Barroso J.D. (2009). *Manual de Neuropsicología*. Ed. Síntesis.

Kandel, E.R. et al (2001). *Principios de neurociencia*. Madrid, McGraw-Hill.

Kandel. E.; Schwartz, J.; Jessel, T. (2001). *Principios de neurociencia*. Madrid: McGraw- Hill

Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. Pfeiffer & Co

Karl M. K. (2012). *The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education*. ASTD.

Koch, C.,y Laurent, G. (1999). Complexity and the nervous system. *Science*,284(5411), 96-98.

Konishi, Y. (2005). Introduction of the cohort study. In *Brain , science and education*. Saitama: Japan Science and Technology Agency.

Kuhl, P, K., Iverson, P, Akahane-Yamada, R. y Diesch, E. (2003). A perceptual interference account of acquisition difficulties for non-native phonemes. *Cognition*, 87, 47–57.

- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature reviews neuroscience*, 5(11), 831-843.
- Kuhl, P. K. (2007). Is speech learning 'gated' by the social brain? *Developmental science*, 10.
- Ledoux, J. (1999). *El cerebro emocional*, Editorial Editorial Planeta,
- Liu, W. C., et al. (2009). A self-determination approach to understanding students' motivation in project work. *Learning and Individual Differences* 19.1: 139-145.
- Maguire, E. A. et al. (2000): Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *PNAS* 97.
- Margulies, S. (1991). The effect of chess on reading scores. *The American chess foundation*, 10.
- Marina J. A. (2012). Neurociencia y Educación. *Revista Participación Educativa*. Consejo escolar del estado. Número 1, 2ª época.
- Marina, J. A. (2011). La educación del cerebro. *Revista de PEDIATRÍA INTEGRAL* XV(5): 473-477
- Mayoral, S., et al. (2014). Mejora de la capacidad de planificación cognitiva del alumnado de primer curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Aula Abierta*
- McGonigal, J. (2011). *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. Penguin.
- Medina, J. (2008). *Brain rules: 12 principles for surviving and thriving at work, home, and school*. Pear Press.
- Mekler, V. (2000). Periodización del tiempo escolar en diferentes países. Dirección general de gestión curricular, Argentina. Organización de estados iberoamericanos.
- Meltzoff A. N. Et al (2009). Foundations for a New Science of Learning. *Science* 325.
- Mercè, T. (2006): *Enfocament sistèmic SEL*. Llicència d'estudis curs 2005/2006.
- Molteni, R., Barnard, R. J., Ying, Z., Roberts, C. K., y Gomez-Pinilla, F. (2002). A high-fat, refined sugar diet reduces hippocampal brain-derived neurotrophic factor, neuronal plasticity, and learning. *Neuroscience*, 112(4), 803-814.
- Mora, F. (2013). *Neuroeducación. Solo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid: Alianza editorial.
- Morales, P. y Landa, V. (2004). Aprendizaje Basado En Problemas Problem-Based Learning." *Theoria* 13: 145-157.
- Munakata, Y., Casey, B. J., & Diamond, A. (2004). Developmental cognitive neuroscience: Progress and potential, *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 122-128.
- Navarro, J. et al. (2005). Implicación de la dopamina en los procesos cognitivos del aprendizaje y la memoria. *Psiquiatría Biológica*, 12(6), 232-236.
- OCDE (2007). *La comprensión del cerebro; el nacimiento de una ciencia del aprendizaje*. Traducción e edición en español a cargo de la Universidad Católica Silva Henríquez (UCSH) en convenio con la OCDE, 2009.

OCDE (2009). La comprensión del cerebro; hacía una nueva ciencia del aprendizaje. OECD Publishing. Aula XXI, Santillana. Olivé, M. L. P. (2001). Neurobiología del desarrollo temprano. *Contextos educativos: Revista de educación*, (4), 79-94.

Ortiz, T. (200). Neurociencia y educación, Alianza Editorial.

Orts, M. et al. (2012). Consideraciones sobre la fundamentación psicopedagógica del ABP: aspectos esenciales. *Aula de innovación educativa*, núm. 216, p. 19-23.

Palomar, J. M. A. (1996). Adquisición y desarrollo del nivel fonológico: intervención didáctica en retrasos y trastornos fonológicos y fonéticos. *Didáctica. Lengua y Literatura*, 8, 11.

Pereira A. et al. (2007): An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *PNAS* 104, 5638-5643.

Pujolàs P., et al. (2011) Proyecto PAC: Programa CA/AC ("Cooperar para Aprender / Aprender a Cooperar") para enseñar a aprender en equipo. Universidad de Vic. Laboratorio de Psicopedagogía.

Rabkin N. et al. (2004). Putting the arts in the picture: reforming education in the 21st century. Columbia College.

Ramachandran, V. S. (2012), Lo que el cerebro nos dice: los misterios de la mente humana al descubierto, Paidós.

Ramírez N. et al. (2005). Caracterización de la memoria visual, semántica y auditiva en niños y niñas con déficit de atención tipo combinado, predominantemente inatento y un grupo control. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, vol. 3, núm. 7, diciembre, 2005, pp. 89-108 Universidad de Almería.

Restak, R. (2005). Nuestro nuevo cerebro: como la era moderna ha modificado nuestra mente. Editorial Urano.

Rilling et al. (2002): A neural basis for social cooperation. *Neuron*, 35.

Rizzolatti, G., Craighero L. (2004): The mirror neuron system. *Annual Rev. Neuroscience*, 27.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., y Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141.

Roseth C. et al. (2008). Promoting early adolescents' achievement and peer relationships: the effects of cooperative, competitive, and individualistic goal structures. *Psychological Bulletin*, 134.

Rué, J., (1991). El treball cooperatiu. Barcelona, Barcanova

Salamone, J. D. y Correa, M. (2012). The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine. *Neuron*, 76(3), 470-485.

Salas, R. (2003) ¿La educación necesita realmente de la neurociencia? *Estudios Pedagógicos*, nº 29.

Salimpoor, V. N. et al. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature neuroscience*, 14(2), 257-262.

Sennett, R. (2012). Juntos. Rituales, placers y política de cooperación. Barcelona: Anagrama.

Smith, W. B., et al.. (2005). Dopaminergic stimulation of local protein synthesis enhances surface expression of GluR1 and synaptic transmission in hippocampal neurons. *Neuron*, 45(5), 765-779.

Aportaciones de la neuroeducación a la enseñanza y aprendizaje de la tecnología

- Solé, R. (2009). Xarxes complexes: del genroma a internet. Biblioteca Universal Empúries.
- Sousa, D. (2006): How the Brain Learns. Corwin Press, Thousand Oaks, CAL.
- Spitzer, M. (2005). Aprendizaje: neurociencia y la escuela de la vida. Omega.
- Stickgold, R., James, L. T. y Hobson, A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*, 3.
- Timoneda, C., Pérez, F., Mayoral, S. y Serra, M. (2013). Diagnóstico de las dificultades de lectura y escritura y de la dislexia basado en la teoría PASS de la inteligencia utilizando la batería DN-CAS. Origen cognitivo de la dislexia. *Aula Abierta*, 41(1), 5–16
- Tokuhamma-Espinosa, T. (2011). Mind, brain, and education science. A comprehensive guide to the new brain-based teaching. W. W. Norton & Company.
- Vaynman S. (2004): Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience* 20, 2580-2590.
- Vicente, R. y Mirasso, C. (2012). Cuando las neuronas sincronizan sus relojes. *Mente y cerebro* 53., Nº. 53, 2012, págs. 62-71
- Waelti, P.; Dickinson, A.; Schultz, W. (2001). Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature* 412.
- Waelti, P.; Dickinson, A.; Schultz, W. (2001). Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature* 412.
- Waldegg, G. (2003). La comprensión del cerebro. Hacia una nueva ciencia del aprendizaje. Educación Matemática.
- Warneken, F., & Tomasello, M. (2007). Helping and cooperation at 14 months of age. *Infancy*, 11(3), 271-294.
- Willard, K., & Duffrin, M.W. (2003). Utilizing project-based learning and competition to develop student skills and interest in producing quality food items. *Journal of Food Science Education*, 2, 69-73.
- Willis, J. (2007). Cooperative learning is a brain turn-on. *Middle School Journal* March.
- Willis, J. (2011). A neurologist makes the case for the video game model as a learning tool. *Retrieved October, 20, 2011*.
- Winans, S. y Gilman, S. (2003). Neuroanatomía y neurofisiología clínicas de Manter y Gatz. Manual Moderno, México. 5ª Edición.
- Yirmiya, R., y Goshen, I. (2011). Immune modulation of learning, memory, neural plasticity and neurogenesis. *Brain, behavior, and immunity*, 25(2), 181-213.
- Zentaro, Y. et al. (2010). Overview of the Japan Children's Study 2004–2009; Cohort Study of Early Childhood Development. *Journal of Epidemiology*. 2010; 20(Suppl 2)S397.
- Zhang, Y., Kuhl, P. K., Imada, T., Iverson, P., Pruitt, J., Stevens, E. B., & Nemoto, I. (2009). Neural signatures of phonetic learning in adulthood: a magnetoencephalography study. *Neuroimage*, 46(1).

Webgrafía:

XLSTAT Statistical Software for Excel: <http://www.xlstat.com/es/> [consultado 14 de junio de 2015].

Classcraft: <http://www.classcraft.com/es/> [consultado 14 de junio de 2015].

Cichoki, A. (2014). *Era of Big Data Processing: A New Approach via Tensor Networks and Tensor Decompositions*. Arxiv: <http://arxiv.org/pdf/1403.2048.pdf> [consultado 14 de junio de 2015].

Kahoot!: <https://getkahoot.com/> [consultado 14 de junio de 2015].

Guillén, J. C. Escuela con cerebro. Un espacio de documentación y debate sobre neurodidáctica. <https://escuelaconcerebro.wordpress.com> [consultado 14 de junio de 2015].

Currículum educació secundària obligatòria – Decret 143/2007 DOGC núm. 4915: http://www.xtec.cat/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/c4edbb44-42e3-45c9-ab17-8a2186687879/decret_eso.pdf

Bueno, D. El Cer-Bell. Com podem aprofitar els coneixements científics per educar encara millor els nostres fills. <http://criatures.ara.cat/elcerbell/> [consultado 14 de junio de 2015].

Examtime Mind Maps: <http://www.examtime.com>

Galindo, M. P. Estadística para investigadores: Todo lo que siempre quiso saber (2ª edición). <https://www.miriadax.net/web/estadistica-investigadores-2edicion>. [Consultado 14 de junio de 2015].

Jensen E. (2007) Una nueva mirada a la educación basada en el cerebro .Revista Internacional Magisterio. Edición digital en: http://www.magisterio.com.co/web/index.php?option=com_content&view=article&id=507:la-educacion-basada-en-el-cerebro&catid=66:revista-no-37&Itemid=63 [consultado 14 de junio de 2015].

Montes, E. M. et al. (2006) El cerebro como sistema complejo: estimación de la conectividad cerebral. http://www.researchgate.net/profile/Erick_Canales-Rodriguez/publication/228541428_El_cerebro_como_sistema_complejo_estimacin_de_la_conectividad_cerebral/links/02bfe50f95e65a86ea000000.pdf [consultado 14 de junio de 2015].

Olivo, R. B., & de Barrios, O. M. (2000). Avances de las neurociencias. Implicaciones en la educación. Agenda Académica, 7(2), 3. Recuperado de: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/humanas/mtria_edu/2021076/und_1/pdf/lectura3m1estacion2.pdf [Consultado 14 de junio de 2015].

Salazar, S. (2005). El aporte de la neurociencia para la formación docente. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación", 2005 5(1) Recuperado de: http://revista.inie.ucr.ac.cr/uploads/tx_magazine/neurociencia.pdf [Consultado 14 de junio de 2015].

Tecno 12-18: <http://www.tecno12-18.com/> [consultado 14 de junio de 2015].

Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning. The Autodesk Foundation, California. <http://www.newtechnetwork.org.590elmp01.blackmesh.com/sites/default/files/dr/pblresearch2.pdf> [Consultado 14 de junio de 2015].

Wolfe, P. (2009). Brain Research and Education: Fad or Foundation?. <http://commons.emich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=loexconf2007> [Consultado 14 de junio de 2015].